



WAGENINGEN UR  
*For quality of life*

# Praktijkervaringen met de Venlow energy kas 2010 - 2012

Frank Kempkes, Jan Janse



### Abstract NL

De energiebesparing bij het nieuwe telen werd tot nu toe altijd bereikt door meer schermen te gebruiken. Een alternatief is toepassing van isolatieglas dat door de komst van coatings zoals Anti Reflectie een vergelijkbare transmissie heeft als standaard enkel glas. Met een aangepast teeltconcept, gebaseerd op het nieuwe telen zoals het achter wegen laten van een minimumbuistemperatuur, zijn een herfstteelt komkommer en twee jaarrondteelten tomaat beproefd. In alle teelten is naar voren gekomen dat het goed mogelijk is een energiebesparing van meer dan 50% te behalen, vergeleken met de praktijk, zonder dat dit negatieve gevolgen voor de productie of productkwaliteit heeft. Ontvochtiging is hierbij essentieel omdat bij een toenemende isolatiegraad van de kas de vochtafvoer beperkt wordt. De hierbij gebruikte regain ontvochtigingsunit kan ca. 80% van de voelbare warmte van de afgevoerde vochtige maar warme kaslucht gebruiken om de ingaande koude maar droge buitenlucht voor te verwarmen.

### Abstract UK

Energy savings from the next generation cultivation method were always achieved by using more screens. An alternative is to apply insulation glass. With the availability of Anti-Reflective coatings a similar transmission of standard single glass is possible. With an adapted cultivation concept, based on the next generation cultivation method as no-use of minimum pipe temperature, an autumn crop cucumber and two year round tomato crops are tested. All crop cycles have shown that it is possible to achieve energy savings of over 50% compared with commercial growers, without affecting production or product quality. Dehumidification is essential while with an increase of insulation of the greenhouse moisture release is reduced. The used dehumidification unit had a regain unit, meaning that the exhaust warm but moist greenhouse air was used to preheat the incoming cold but dry outside air. The regain system had an efficiency of about 80% of the sensible heat.



© 2013 Wageningen, Wageningen UR Glastuinbouw

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Wageningen UR Glastuinbouw

## Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Droevendaalsesteeg 1, 6708 PB Wageningen  
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen  
Tel. : 0317 - 48 60 01  
Fax : 0317 - 41 80 94  
E-mail : [glastuinbouw@wur.nl](mailto:glastuinbouw@wur.nl)  
Internet : [www.glastuinbouw.wur.nl](http://www.glastuinbouw.wur.nl)

# Inhoudsopgave

	Voorwoord	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	9
2	Het concept van de Venlow Energy kas	11
2.1	De kas	11
2.1.1	Tussentijdse aanpassingen aan de kas	12
2.2	Het kasdek	13
2.2.1	Tussentijdse aanpassingen aan het kasdek	16
2.3	Ontvochtiging met behulp van een regain unit	16
2.3.1	Tussentijdse aanpassingen aan de ontvochtigingsinstallatie	17
2.4	Het teeltconcept	19
2.5	De teelten	20
3	Kasklimaat en energiehuishouding	21
3.1	Kasluchttemperatuur, luchtvochtigheid en CO <sub>2</sub> concentratie	21
3.1.1	Komkommer	21
3.1.2	Tomaat	23
3.2	Energiehuishouding	28
3.2.1	Komkommer	28
3.2.2	Tomaat	29
3.3	Systemen	32
3.3.1	Kop en vruchttemperatuur	32
3.3.2	Buistemperaturen	34
3.3.3	Slangtemperaturen	35
3.3.4	Luchtsnelheid	37
3.3.5	Verdamping en wateropname	40
3.3.6	Koude lekken	45
3.3.7	Sneeuw	47
4	Gewasgroei	51
4.1	Onderzoeksopzet	51
4.1.1	Komkommer 2010	51
4.1.2	Tomaat	51
4.1.3	Tomaat 2010-2011	51
4.1.4	Tomaat 2011-2012	53
4.2	Resultaten	54
4.2.1	Komkommer 2010	54
4.2.2	Tomaat 2010 - 2011	55
4.2.3	Tomaat 2011 - 2012	59
5	Publiciteit	65
6	Conclusies	67
7	Literatuur	69

Bijlage I	Temperatuurverloop in de slang	71
Bijlage II	Overzicht publicaties en presentaties	81

# Voorwoord

Geïnspireerd door de ervaringen met één van de prijswinnende ontwerpen die in 2009 in het Innovatie en Demo Centrum zijn gebouwd, heeft een consortium van bedrijven bestaande uit Scheuten glas, Boal systems, Maurice kassenbouw en Climeco engineering, het Venlow Energy kasconcept ontworpen. Dit kasconcept is in de zomer van 2010 in het IDC in Bleiswijk ook daadwerkelijk gebouwd. Sindsdien zijn er een herfstteelt komkommer en twee jaarrondteelten met tomaat in de kas getest. Het Venlow Energy kasconcept bestaat naast maximale isolatie door middel van isolatieglas ook uit het verder doorvoeren van de opgedane kennis met het nieuwe telen zoals dat beschreven is in het project 'Nieuw kasdek voor het nieuwe telen'. Deze aanpak is als een proof of principle project in het kader van het innovatieprogramma Kas als Energiebron in opdracht van het Ministerie van EZ en het Productschap Tuinbouw uitgevoerd. Kas als Energiebron heeft als doel om een aanzienlijke energiebesparing in de tuinbouw te realiseren. In het onderzoek werd gezocht naar het optimaal sturen van het gewas, waarbij zo zuinig mogelijk zou worden omgegaan met het inzetten van warmte en elektriciteit in de kas om tot een energiebesparing van 50% ten opzichte van de praktijk te komen.

In de herfstteelt met komkommer heeft teler Hans Kik geadviseerd en beide tomatenteelten werden aangestuurd en intensief begeleid door een BCO bestaande uit Ted Duijvestijn en Joost Barendse.

Frank Kempkes en Jan Janse  
Wageningen UR Glastuinbouw  
oktober 2013



# Samenvatting

De Venlow Energy kas is een kasconcept wat op 4-pijlers is opgebouwd.

- Een kasdek met een hoge isolatiegraad zonder (veel) concessies te doen aan de transmissie,
- het ontvochtigen met behulp van mechanische inbreng van buitenlucht met warmteterugwinning,
- toepassing van laagwaardige verwarmingssystemen en
- een aangepast teeltconcept mede gebaseerd op de inzichten rond Het Nieuwe telen (HNT).

In een herfstteelt komkommer en twee jaarrondteelten met tomaat (Komeett) is het kasconcept beproefd en tegen het licht gehouden. De teelten zijn dankzij de inzet van BCO's zo goed mogelijk vergelijkbaar gehouden met de praktijk, zonder de principes van HNT los te laten. Tijdens de teeltwisselingen zijn aanpassingen aan de kas verricht om de kas aan te passen of verbeterde systemen uit te kunnen proberen zoals de introductie van het air & energy systeem in 2012.

Energie technisch heeft het kasconcept voldaan aan de verwachtingen. Bij aanvang van het project was als doel omschreven een jaarrond tomatenteelt met een warmte-input van  $15 \text{ m}^3/\text{m}^2$  ae. Dit is in 2012 bereikt zodat de input van warmte met meer dan 50% verlaagd is ten opzichte van een zuinige praktijkgroep met het zelfde ras en plantdatum. Daar staat wel een beperkte toename van het elektriciteitsgebruik tegenover (een equivalent van minder dan  $2 \text{ m}^3/\text{m}^2$  aardgas). Het warmtegebruik kent duidelijk twee seizoenen als dit met de praktijk vergeleken wordt. In de winter is er een besparing door kasdek en scherm (de isolatie) en in de zomer is er een ten opzichte van de praktijk erg laag gebruik door aanpassingen in het teeltregiem zoals het nooit toepassen van minimumbuis temperatuur.

Door het lage energiegebruik in de zomer, van week 19 t/m 37 is er in 2012 slechts  $1.4 \text{ m}^3/\text{m}^2$  gebruikt, is het wel een voorwaarde dat er absoluut een externe  $\text{CO}_2$  bron beschikbaar moet zijn. In deze periode is er een kleine  $30 \text{ kg}/\text{m}^2 \text{ CO}_2$  gedoseerd terwijl er slechts  $2.5 \text{ kg}/\text{m}^2$  beschikbaar zou zijn gekomen bij de opwekking van de gebruikte warmte met een ketel.

Het is gebleken dat in deze kas goed te telen is. De kas warmt erg snel op maar koelt langzaam af. Teelt technisch heeft dit niet tot problemen geleid hoewel er met de klimaatregeling wel op geanticipeerd moest worden, met name door agressiever te luchten om de voornachtverlaging te bereiken.

Klimaat technisch was er in deze kas dan ook goed te telen. In 2012 is het air & energy systeem in de kas geïntroduceerd met als één van de achterliggende ideeën: toepassing van laagwaardige warmte. Daarbij is de groeibuis verdwenen, in feite is deze verplaatst van tussen het gewas naar onder de goot in de distributieslang van de ontvochtiging/verwarming. Het in het 2012 achterwege laten van de groeibuis heeft niet geleid tot aantoonbare effecten op het gewas. De capaciteit van de buitenlucht inblaas was bijna altijd voldoende en op momenten dat deze ontoereikend waren, was ook bij de traditionele manier van ontvochtiging, ramen open en stoken, de luchtvochtigheid moeilijk op het gewenste maximale niveau te sturen. Dit is vaak tussen half augustus en half september als de buitenomstandigheden warm en vochtig zijn het geval.

De hier gekozen uitvoering van het air & energy systeem met een verwarmingsnet in de slang heeft aangetoond dat het mogelijk is te verwarmen via een slang zonder temperatuurverschillen te creëren.

Luchtbeweging is de laatste jaren een veel besproken onderwerp. Er zijn metingen aan de luchtsnelheid rond het gewas verricht maar deze waren over het algemeen bijzonder laag, wat gezien de capaciteiten (debieten) van deze systemen ook te verwachten is. Daaruit is geconcludeerd dat ook relatief weinig luchtbeweging kennelijk al voldoende is. De herfstteelt komkommer en de twee jaarrondteelten met tomaat hebben laten zien dat de producties zeker niet onder die van de praktijk lagen maar eerder er boven. Ten opzichte van vergelijkbare teelten kwamen de tomatenproducties in 2011 en 2012 respectievelijk meer dan 7 en 10% hoger uit. Hoewel deze teelten (2011 de referentieafdeling van de diffuus glas proef bij Wageningen UR in Bleiswijk en in 2012 de  $\text{CO}_2$  proef bij het Improvement Centre) niet specifiek voor deze proef waren opgezet, waren ras en plantdatum wel gelijk. De teelten verliepen erg goed met te verwaarlozen bladrandjes en Botrytis in het gewas.

Het kasconcept heeft tot nu toe slechts één duidelijk nadeel laten zien: het afsmelten van sneeuw in de winter. De isolatiegraad is zo goed dat het niet mogelijk is de sneeuw af te smelten. In teelten waar licht een zo belangrijke factor is, is dit een onderwerp dat bij implementatie in de praktijk aandacht behoeft.

Naar de toekomst toe zijn er zeker nog verdere stappen te maken. Aan de productiekant is de inzet van diffuus glas nog een mogelijkheid. Aan de energiekant kan het primaire energiegebruik nog verder teruggebracht worden indien er met

een warmtepomp in combinatie met een warmtekracht, die de benodigde elektriciteit voor de warmtepomp produceert, gewerkt gaat worden. Dan is het wel noodzakelijk om in de zomer warmte te gaan oogsten die de warmtepomp in de winter kan gaan gebruiken. In een dergelijk scenario moet het mogelijk zijn om het huidige verbruik van  $16 \text{ m}^3/\text{m}^2$  ae (warmte + extra elektriciteit) naar onder de  $12 \text{ m}^3/\text{m}^2$  ae te brengen.



# 1 Inleiding

Bij het nieuwe telen is de warmtebesparing vooral tot stand gekomen door het installeren van meer (tot 3) schermen en aanpassingen in het teeltregime als het zoveel mogelijk achterwege laten van de minimum buis. Dit vele schermen in de winter gaat gepaard met fors lichtverlies. In plaats van schermen is het ook mogelijk een “permanente” hoge isolatie van de kas te bereiken door toepassing van isolatieglas.

In de zomer van 2010 is door een consortium van tuinbouw toeleveranciers bestaande uit Boal systems, Climeco engineering, Maurice kassenbouw en Scheuten glas, de toepassing van isolatieglas in het Venlow Energy kasconcept verwerkt. Dit kasconcept gaat uit van een maximale isolatie van de kasomhulling, het energiezuinig ontvochtigen van de kaslucht met buitenlucht met warmteterugwinning en het toepassen van een energiezuinig teeltconcept gebaseerd op de ervaringen bij het nieuwe telen. De maximale isolatiegraad van de kasomhulling is gerealiseerd door toepassing van hoogwaardig isolatieglas in plaats van drievoudige schermen zoals bij het nieuwe telen bij de start van de teelt gebruikelijk is. Bij een verhoging van de isolatie van de kas zal meer en vaker ontvochtigd moeten worden. Zeker bij dubbelglas zal de condensatie tegen het kasdek afnemen. Door toepassing van een regain installatie waarin de afgezogen vochtige maar warme kaslucht wordt gebruikt om de droge maar koude buitenlucht voor te verwarmen kan dit energiezuinig gebeuren. Hierbij kan een groot deel van de voelbare warmte en soms zelfs een deel van de latente warmte uit de afgevoerde kaslucht gebruikt worden zodat minder energie in de naverwarming van de koude buitenlucht tot op kasluchtniveau gaat zitten. Voor het teeltconcept in de kas is gebruik gemaakt van alle ervaringen opgedaan in de projecten rond het nieuwe telen tomaat, komkommer en paprika. In een voorstudie “Nieuw Kasdek voor Het Nieuwe Telen” is het toe te passen teeltconcept in de Venlow Energy kas uitgewerkt. Naar aanleiding van deze voorstudie is ook de energiedoelstelling gedefinieerd: “is het mogelijk met  $15 \text{ m}^3/\text{m}^2$  aan warmte een jaarrond tomatenteelt rond te zetten”.

Na de ombouw in de zomer van 2010 waar alleen het kasdek van de toenmalige kas is vervangen is op 5 augustus een herfstteelt komkommer gestart. Vervolgens is op 23 december 2010 een tomatenteelt gestart die op 15 november 2011 is beëindigd. Van 23 december 2011 t/m 26 november 2012 is nogmaals een tomatenteelt uitgevoerd nadat de oorspronkelijke regain installatie is vervangen door het “air & energy” systeem welke naast ontvochtiging met buitenlucht en warmteterugwinning het slangverdeelsysteem ook gebruikt als basis verwarmingssysteem voor de kas.

In hoofdstuk 2 wordt de essentie van het concept van de technologie en de teelt die in de Venlow Energy kas is toegepast uitgelegd en in hoofdstuk 3 wordt de overall prestatie van de kas beschreven waarbij aandacht wordt besteed aan het temperatuur en vochtregime, de lichtcondities in de kas en de  $\text{CO}_2$  concentratie.

Hoofdstuk 4 gaat in op de gewasontwikkeling en productie en hoe deze zich verhoudt tot de praktijk. De kas kent door vele bezoekers van het IDC en artikelen en rapportages in vele bladen een brede publiciteit.



## 2 Het concept van de Venlow Energy kas

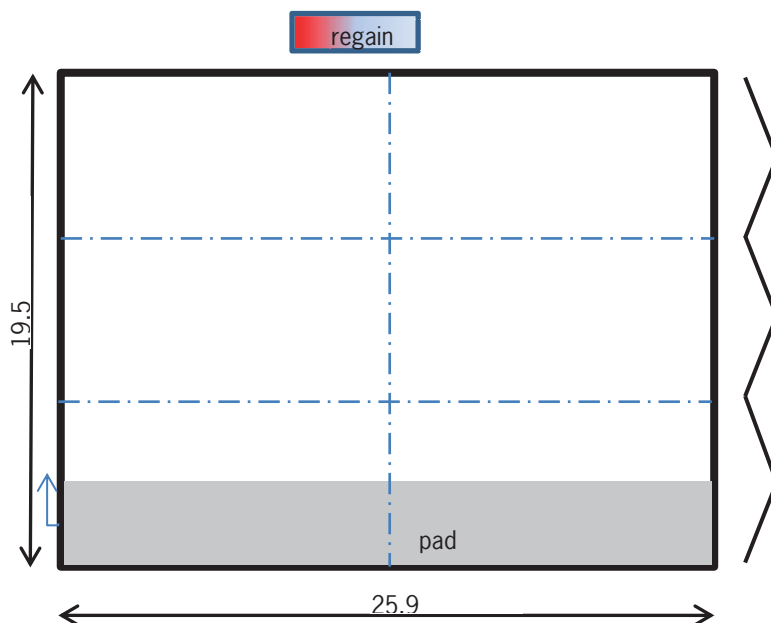
De Venlowkas kent technisch gezien 2 belangrijke innovaties. Het dek is gemaakt van isolatieglas met een hoge transmissie en een grote warmteweerstand. Daarnaast is voor het zo energiezuinig ontvochtigen een tegenstroom lucht-lucht warmtewisselaar geïnstalleerd, een zogenaamde regain unit. Teelt technisch wordt het concept voortgezet zoals dat bij het nieuwe telen is ontwikkeld. Dit komt voornamelijk neer op het minimaliseren van het minimumbuisgebruik, zoveel mogelijk het natuurlijke klimaat volgen en rustig te regelen.

In dit hoofdstuk zal per onderdeel de werking en het gebruik besproken worden. Tijdens het project zijn er enkele aanpassingen verricht. Dit zal per onderdeel in de betreffende paragrafen besproken worden.

### 2.1 De kas

De kas is van een venlo type, gebouwd volgens het zogenaamde zon-kas systeem. Hierbij is de kas zo gebouwd dat de tralieligger onder de goot is gelegd. Dit maakt de goot stabiel en zorgt voor meer licht in de kas. Omdat de goot stabiel is, kunnen grotere afstanden worden overbrugd. Hierdoor zijn grotere glasoppervlakten mogelijk wat weer zorgt voor meer lichtinval. Een ander voordeel is het energieschermen-systeem. Het scherm pakket loopt van goot tot goot en is verwerkt in de schaduwbaan hiervan.

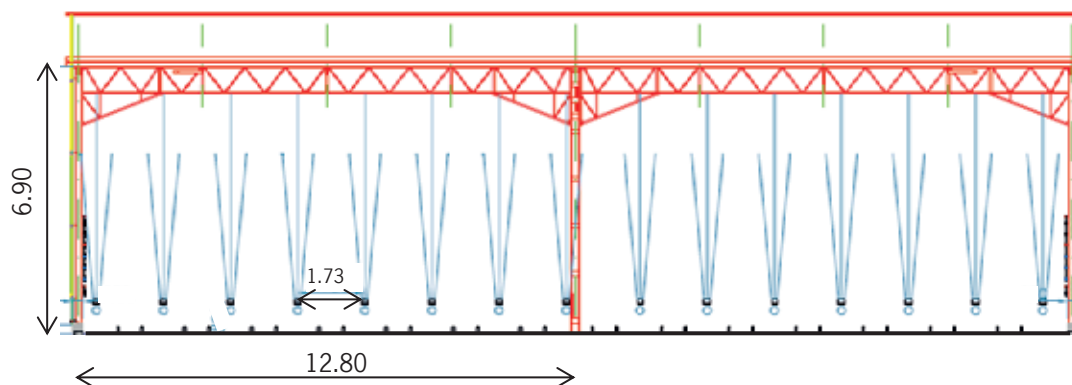
In Figuur 2.1. is de layout van de kas gepresenteerd. De buitenafmeting van de kas is 25.9 x 19.5 meter. Hierdoor zijn er drie kappen van 6.4 meter breed. De dakhelling is 22°. Aan de noorkant van de kas is een betonpad van 3 meter breed geplaatst. Hierdoor ontstaat een teeltruimte van 415 m<sup>2</sup>.



Figuur 2.1. Layout van de Venlow Energy kas zoals die bij het IDC in Bleiswijk is gebouwd.

Onder de goot is een tralieligger geplaatst van 12.8 m, zie Figuur 2.2. Voor de inrichting is gebruik gemaakt van hangende goten met een afstand van 1.73 m op een hoogte van 0.7 m. Door deze vrije ruimte ontstaat de mogelijkheid onder de goten slangen of andere verdeelsystemen te plaatsen. De goothoogte van de kas is 6.9 meter. Voor het verwarmingssysteem is in oorsprong gebruik gemaakt van een buisrailsysteem (51mm).

De gevel kent naar verhouding met het grondoppervlak een erg groot oppervlak. Om het geveleffect met betrekking tot het energiegebruik uit te schakelen is de gevel van een apart regelbaar net voorzien. Dit verwarmingsnet wordt zodanig geregeld dat deze exact het gevelverlies compenseert. Voor het horizontale deel ontstaat zo een “oneindig grote kas” waar geveleffecten geen rol spelen. Daarnaast is om het geveleffect te minimaliseren de gevel aan de noordkant naast het betonpad voorzien van sandwich panelen in plaats van glas.



Figuur 2.2. Inrichting van de Venlow Energy kas zoals die bij het IDC in Bleiswijk is gebouwd.

De verwarming bestaat uit een buisrail systeem van 14 x 51 mm in een tralie van 12.8 m. De CO<sub>2</sub> wordt door middel van darmen onder de teeltgoot verdeeld. De CO<sub>2</sub> bron is OCAP en de doseersnelheid kan (handmatig) ingesteld worden tussen 0 en 300 kg/ha/uur. In de proef is meestal met een doseercapaciteit van maximaal 200 kg/ha/uur gewerkt.

Er is een scherminstallatie met een XLS10- ultra plus doek in de kas gemonteerd welke zowel voor energiebesparing als voor (beperkte) zonwering ingezet kan worden.

Water wordt gegeven met een druppelsysteem waarbij het systeem op de betreffende teelt is aangepast. De watergift (flow) van de hele afdeling wordt met een flowmeter gemeten. Drain water van de hele kasafdeling wordt centraal opgevangen waarbij de flow wordt bepaald.

Omdat de glastemperatuur aan de binnenkant van de kas bij dubbel glas hoger wordt, zal er minder waterdamp tegen het kasdek condenseren. Het condenswater wordt apart verzameld en gemeten. Door de goot constructie en beglazingsmethode blijkt er bij grotere waterafvoer (B) regenwater als lekwater in de condensgoot A te kunnen komen waardoor de condensmeting bij neerslag onbetrouwbaar is, Figuur 2.3.



Figuur 2.3. Condensgoot (A) en regenwater afvoer (B) in de Venlow Energy kas.

## 2.1.1 Tussentijdse aanpassingen aan de kas

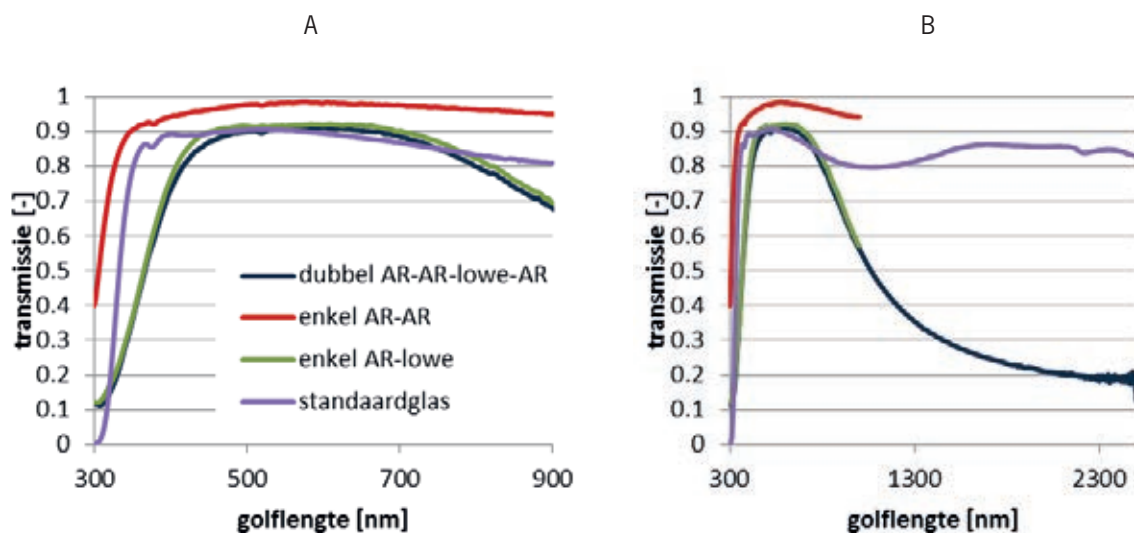
Bij de uitwerking van het teeltconcept voor tomaat (vastgelegd in het rapport “Nieuw Kasdek voor Het Nieuwe Telen”) is overeengekomen dat het noodzakelijk zou zijn een groeibuis te hebben om teeltvertraging in de afrijping van vruchten te voorkomen. In december 2010 is daarom een groeibuisnet van 28 mm (1 per teeltgoot) geïnstalleerd.

De regain unit welke bestond uit één centrale metalen lucht-lucht warmtewisselaar is in december 2011 vervangen door het air & energy systeem. Kenmerk van dit systeem is de combinatie van een ontvochtigings en verdeelsysteem met het verwarmingssysteem. Hiermee zou beter laagwaardige warmte ingezet kunnen worden waarmee het rendement van het

ketelhuis verhoogd kan worden. Hiermee is de groeibuis in de vorm zoals geïnstalleerd in december 2011 weer komen te vervallen. In paragraaf 2.3 is dit verder behandeld.

## 2.2 Het kasdek

De kas is voorzien van isolatieglas. Omdat bekend is dat toepassing van standaard enkel glas in een dubbelglas variant ten koste gaat van veel lichtverlies is op 3 van de 4 zijden van het glaspaneel een AR-coating opgebracht. Op de vierde kant is een low- $\epsilon$  coating geplaatst om een maximale energiebesparing te kunnen bereiken. Om de effecten van de coatings en het dubbel uitvoeren te verduidelijken is in Figuur 2.4. de transmissie van een aantal materialen gegeven. Standaard enkel tuindersglas “standaard” is niet veredeld met enige coating. Wordt enkel glas aan beide zijden van een AR-coating voorzien, dan wordt de transmissie over het hele spectrum omhoog getild ‘enkel AR-AR’. Wordt enkel glas voorzien van zowel een AR als een low- $\epsilon$  coating, dan wordt de loodrechte transmissie in het 400-700 nm gebied vrijwel niet beïnvloed ten opzichte van het standaard glas maar boven de 800 nm ontstaat een duidelijk verschil ‘enkel AR-low- $\epsilon$ ’. De combinatie enkel AR-AR en enkel AR-low- $\epsilon$  geeft de transmissie zoals de dubbel AR-AR-low- $\epsilon$ -AR in de figuur aangeeft. De transmissie van het dubbele glas is nagenoeg gelijk aan het enkele AR-low- $\epsilon$ . Dat een dubbele toepassing niet altijd het vermenigvuldigingsresultaat is van de enkelvoudige monsters zal in dit geval zeer waarschijnlijk door de low- $\epsilon$  coating komen. Die coating heeft een behoorlijke (negatieve) invloed op de loodrechte transmissie (het reflecteert meer). Maar in de dubbelglas uitvoering zit er weer een ruit boven die alsnog weer een deeltje terug zal reflecteren. Daarnaast neemt de meeton nauwkeurigheid bij dubbellaags monsters toe en deze is op z'n best  $\pm 0.5\%$  voor enkel glas. De grootste verschillen komen voor in het violet en UV-A deel.



Figuur 2.4. Loodrechte transmissie van verschillende kasdekmaterialen in het golflente gebied 30- 900 nm (A) en voor het gehele globale stralingsspectrum van 300 tot 2500 nm (B).

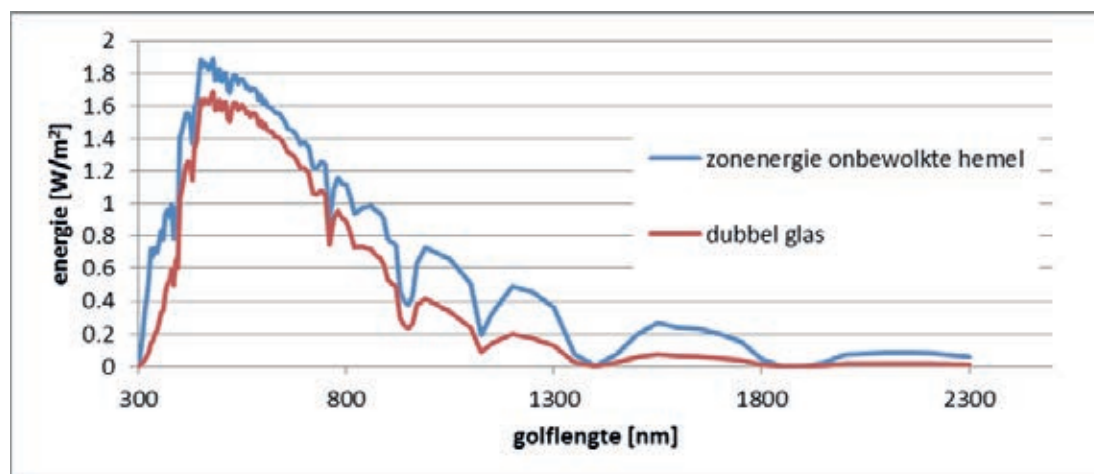
Tabel 2.1. geeft het overzicht van de transmissie van het isolatie glas en van standaardglas zoals deze op de kassen van WUR Glastuinbouw in Bleiswijk ligt. Het verschil tussen loodrechte en hemisferische transmissie is voor dubbel glas veel groter dan voor enkele glas. Doordat de low- $\epsilon$  coating een behoorlijke reflectie kent, gaat reflectie een grotere rol spelen als de hoek van inval van het directe licht kleiner wordt. De hemisferische transmissie is een gewogen integraal, volgens een NEN-norm, van directe lichttransmissies onder hoeken. Door de grotere reflectie van de low- $\epsilon$  coating valt daarmee de hemisferische transmissie bij de dubbele toepassing naar verhouding een stuk lager uit dan bij het standaard Bleiswijkse enkele glas.

Tabel 2.1. Loodrechte ( $T_p$ ) en hemisferische ( $T_h$ ) transmissie van het dubbel glas zoals in de Venlow Energy kas is toegepast, in vergelijking met het standaard glas.

Vorm	coating lagen	$T_p$ [-]	$T_h$ [-]	glasdikte [mm]
Dubbel	AR-AR-Low- $\epsilon$ -AR	87.9	78.7	3 - 3
enkel bleiswijk glas	-	89.8	82.7	4

De energie inhoud van zonlicht is afhankelijk van de golflengte. In Figuur 2.5. is de energie-inhoud van zonlicht bij een onbewolkte hemel gegeven. Door de lagere transmissie boven de 800 nm zal uiteindelijk ook minder NIR energie in de kas komen in vergelijking met standaard glas. Het effect op de PAR energie (400-700 nm) is met 4% verschil niet groot, zie Tabel 2.1. De verdeling van de energie over de verschillende golflengte gebieden UV (<400 nm), PAR (400-700nm) en NIR (>700 nm) is respectievelijk ca. 6, 46 en 48% van de globale straling. Het verloop van de zonne-energie curve in Figuur 2.5. laat zien dat een halvering van de transmissie bij 1500 nm veel minder effect heeft dan bij 800 nm. De low- $\epsilon$  coating heeft effect (reflectie) op de infra rode straling en dat is gedefinieerd als straling met een golflengte van meer dan 780 nm. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen het al genoemde Nabij Infra Rood (NIR), dat nog onderdeel is van de globale straling en dat zijn golflengtes tussen de 780 en 3000 nm en lange golf infrarode straling, alles met een golflengte boven de 3000 nm. De NIR straling zorgt mede voor de opwarming van de kas.

Uiteindelijk wordt 43% van de NIR straling bij een onbewolkte hemel gereflecteerd door het kasdk. Dat komt overeen met ruim 20% van de globale straling. Voor het PAR spectrum liggen deze getallen op respectievelijk 11 en 5%.

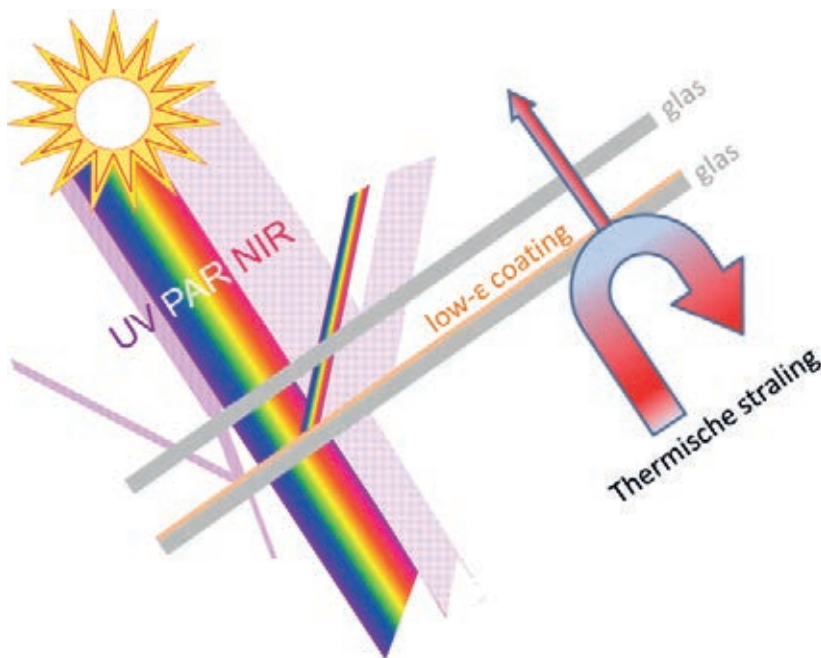


Figuur 2.5. Spectrale energieinhoud zonlicht en onder dubbel glas met AR-AR-low $\epsilon$ -AR coating.

Het netto effect van deze 'hoge' NIR-reflectie is uiteindelijk een stuk kleiner indien er in de kas een gewas staat. Blad kent verschillende reflectie coëfficiënten voor respectievelijk PAR en NIR straling van respectievelijk 5 en 45%. Hierdoor wordt ongeveer de helft van de NIR straling die op het gewas komt direct weer terug gereflecteerd. In het geval van een goede NIR reflectie in het kasdek zal dit kasdek ook voor de door het gewas gereflecteerde NIR straling als een reflector dienen zodat NIR straling in plaats van door het kasdek, weer terug gereflecteerd wordt in de kas. Door deze re-reflectie is het totaal effect van deze 43% NIR reflectie in het kasdek ca. 12% van de globale straling (Stanghellini 2011). Hiermee is het totaal effect van de NIR reflectie teruggebracht tot de orde grote van de PAR reflectie.

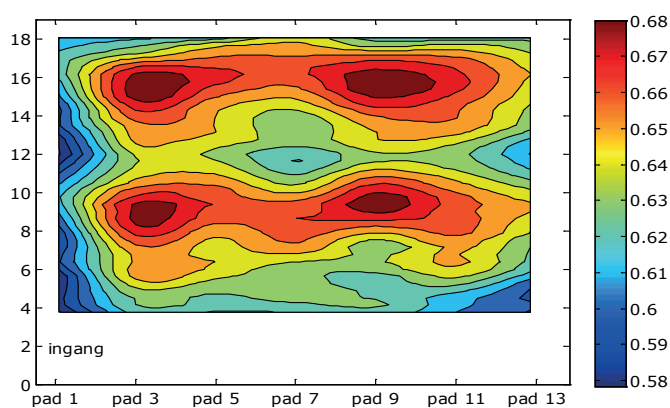
Daarnaast heeft de NIR reflectie van de low- $\epsilon$  coating alleen effect op de warmtebelasting van de zon op de kas en niet zo zeer op het warmteverlies van de kas (een klein beetje overdag als er zonne straling is maar geen effect in de nacht). De lang golvige straling, vooral tussen de 20000 en 30000 nm (ook wel thermische straling genoemd) heeft wel effect op het warmteverlies van de kas. De kas is een warm object die stralingswarmte naar de omgeving verliest. De low- $\epsilon$  coating verminderd juist deze stralingsverliezen. Van een aluminium scherm weten we dat deze beter isoleert dan andere materialen omdat deze de thermische straling juist goed weet tegen te houden. Dat komt door de emissie-coëfficiënt ( $\epsilon$ ) die rond de 0.1 ligt voor aluminium. Voor glas is dit bijna het tegenovergestelde daar is de emissie-coëfficiënt ( $\epsilon$ ) juist hoog van, ca. 0.9. Met de low emissie coating (low- $\epsilon$ ) die op één van de glaspanelen is aangebracht

wordt de emissie van het glas verlaagd om het glas minder thermische energie naar de buitenomgeving te laten afvoeren. Dat het aanbrengen van de low- $\epsilon$  coating, wat een dun metaal laagje is, ook gevolgen heeft op de NIR transmissie is dus een neven effect net zo als de vermindering van de PAR transmissie. In Figuur 2.6. zijn de effecten van de low emissie coating nog eens samengevat.



Figuur 2.6. Effect van de low emission coating op de verschillende golflengten.

Naast het materiaal heeft ook de kasconstructie en kasinrichting invloed op de transmissie van de kas. Om de transmissie van de kas te bepalen is onder diffuse weersomstandigheden de transmissie in de kas op gewasdraadhoogte (tomaat) gemeten. Dit resultaat is in Figuur 2.7. weergegeven. Op het betonpad is niet gemeten en het is ook niet mogelijk tot aan de gevels te meten. De afname van de transmissie naar de gevels heeft twee oorzaken. Aan de linker kant van deze kas stond op het moment van meten nog de zonwind-kas en in de gevels is een eerste versie isolatieglas met een beduidend lagere transmissie dan in Tabel 2.1 is aangegeven. De overall transmissie van de kas is hiermee bepaald op 64%.



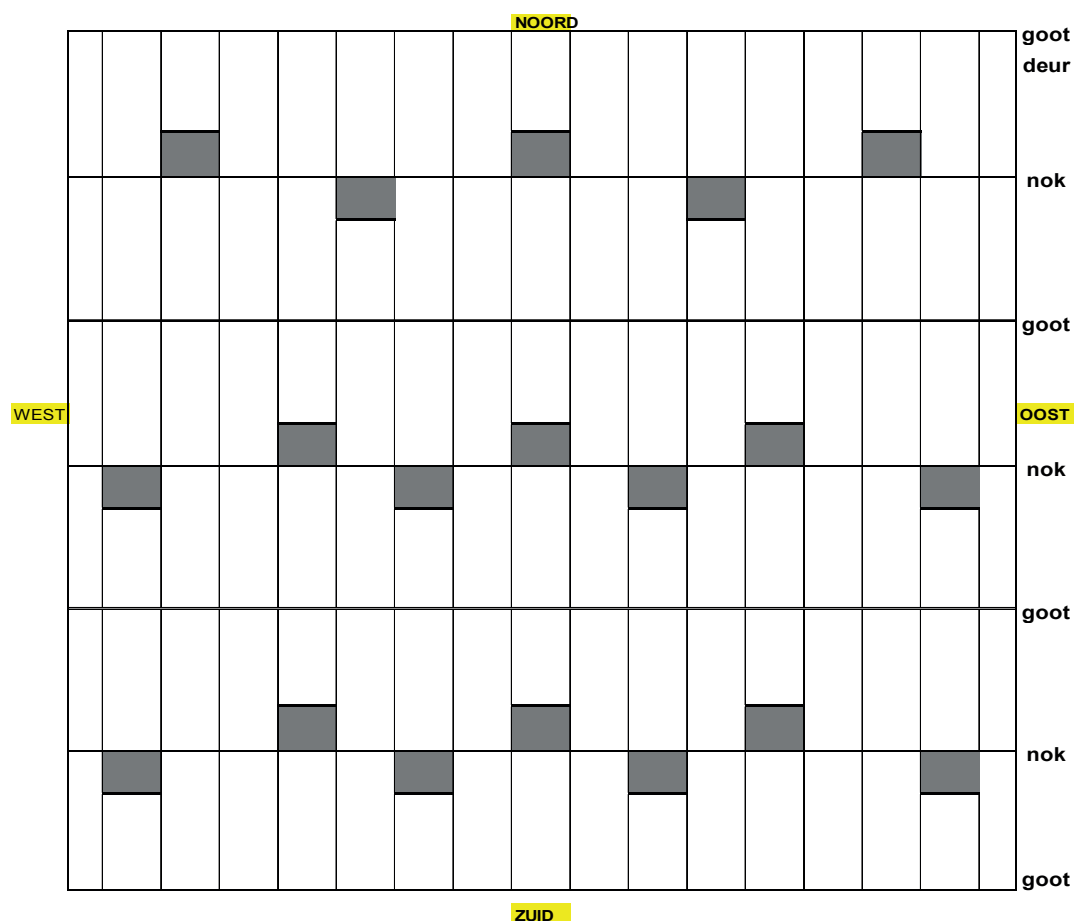
Figuur 2.7. Kastransmissie op verschillende locaties in de Venlow Energy kas.

In het oorspronkelijke ontwerp van de Flowdeckkas, was het kasdek dubbel uitgevoerd om via water warmte te oogsten. Daarvoor waren slechts een beperkt aantal luchtramen in het kasdek opgenomen omdat de kas gekoeld zou worden. Bij de verbouw is het zelfde raam stramien aangehouden waardoor er alleen aan de noordkant ventilatieramen (3 kappen á 5 ramen = 15) geplaatst zijn die tot aan de nok geopend konden worden.



## 2.2.1 Tussentijdse aanpassingen aan het kasdek

Het raamstramien met het beperkte aantal luchtramen met een raamopening maximaal gelijk aan de nok bleek voor de komkommerteelt geen probleem op te leveren. Omdat tomaat koeler geteeld wordt, is besloten in december 2010 het luchtingssysteem aan te passen. Naast extra luchtramen (4) die niet meer alleen aan de noordkant geplaatst zijn, is er ook een verlengde heugel geplaatst zodat de ramen ca. 60° geopend kunnen worden. De 19 ramen zijn niet gelijkmatig verdeeld over noord en zuid-kant van de kap en de kappen, dit omdat er niet voldoende glas met de juiste maatvoering aanwezig was. Zolang niet met minimumraamstanden gewerkt wordt, zal de regelaar dit verschil oplossen door een ander raamstand in te stellen. Figuur 2.8. geeft het huidige raamstramien weer.

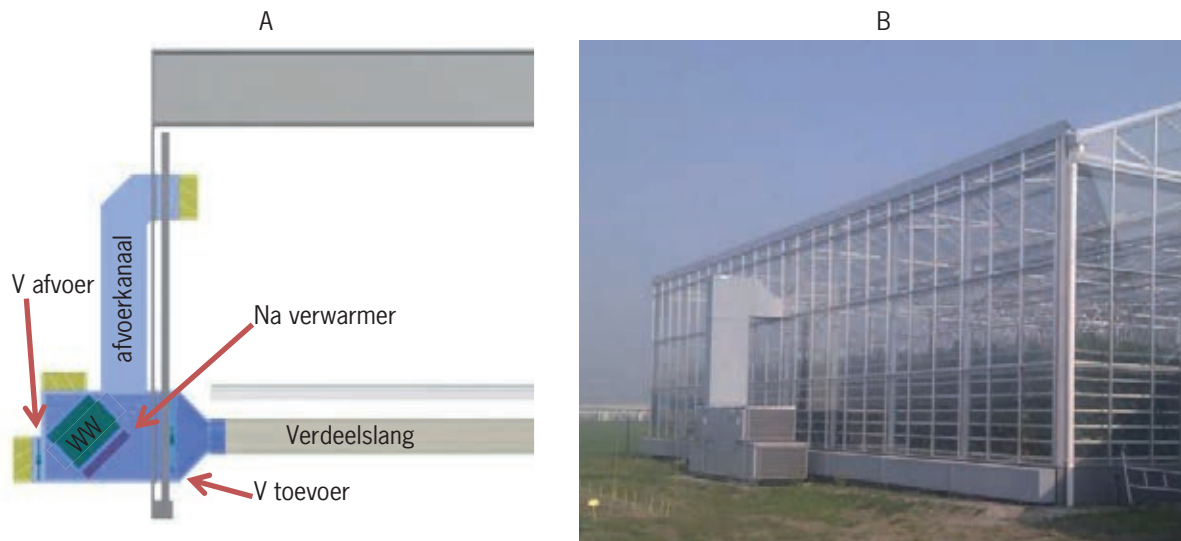


Figuur 2.8. Luchtraamstramien in de Venlow Energy kas.

## 2.3 Ontvochtiging met behulp van een regain unit

De regain is een unit bestaande uit een lucht-lucht warmtewisselaar waar warme maar vochtige kaslucht gebruikt wordt om de koude maar droge buitenlucht mee voor te verwarmen. Voor de hele kas staat één unit ter beschikking. In Figuur 2.9A is de werking van de unit schematisch weergegeven. De afvoer ventilator ( $V_{afvoer}$ ) zuigt via het staande buitenkanaal de vochtige kaslucht af naar de warmtewisselaar (WW). De toevoer ventilator  $V_{toevoer}$  zuigt de buitenlucht door de warmtewisselaar (WW) aan, trekt de lucht vervolgens door de na verwarmde waarmee de voorverwarmde buitenlucht op kasluchttemperatuur wordt gebracht. Via slangen met een diameter van 30 cm wordt deze vervolgens in de kas verdeeld. De maximale capaciteit is 10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/uur. Het toerental van de ventilatoren kan met behulp van frequentieregelaars worden gestuurd. Figuur 2.9B geeft een overzicht van de opstelling van de regain unit buiten de kas tegen de zuidgevel.





Figuur 2.9. Schematische weergave van de regain unit (A) en de opstelling buiten de kas (B)

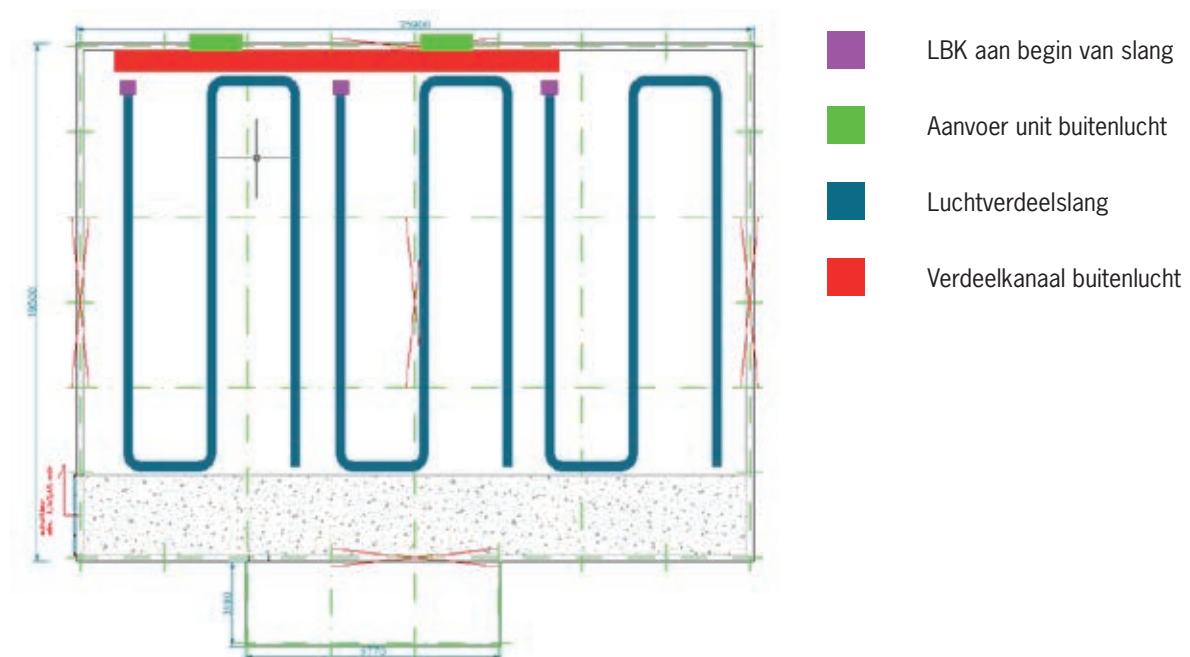
### 2.3.1 Tussentijdse aanpassingen aan de ontvochtigingsinstallatie

In december 2011 is het regain systeem vervangen door een air & energy systeem. Deze combineert het ontvochtigingssysteem, met warmteterugwinning (maar nu uitgevoerd als gevelunit), met een verwarmingssysteem in het luchtverdeelsysteem onder de goten. Daarvoor zijn 2 afzonderlijk regelbare verwarmingssystemen gebruikt om de negatieve ervaringen, een slechte temperatuurverdeling bij slechts één centrale verwarmingsunit aan het begin van een slang, te voorkomen. Één lbk is aan het begin van de slang geplaatst en vervolgens is van pvc een verwarmingssysteem in de slang aangebracht, zie Figuur 2.10A. Deze figuur laat een uitvoeringsvorm zien die snel en eenvoudig te installeren was, het gaat om een verwarmingssysteem in de slang om afkoeling van de warme lucht in de slang te compenseren. Omdat de kaslengte maar gering is en in de praktijk grotere slanglengtes voorkomen, zijn 3 slangen middels een stalen kanaal met elkaar doorverbonden, Figuur 2.10B. Uiteindelijk zijn er in totaal 9 verdeelslangen onder de goot gemaakt zodat er in feite sprake is van 3 verwarmingsstrengen in de kas. In Figuur 2.11. is deze layout verduidelijkt. Grote verandering van dit systeem is dat er in plaats van 1 ventilator groep er nu 2 ventilatorgroepen zijn. Één groep is de combinatie van de afvoer van de warme maar vochtige kaslucht naar buiten en de inblaas van koude maar droge buitenlucht naar binnen. Deze groep, bestaande uit 2 ventilatoren (V1 en V2) hebben een gelijke capaciteit en worden ook altijd gelijktijdig aangestuurd (Figuur 2.12A en B). Ventilator V1 zuigt de warme vochtige kaslucht af (Figuur 2.12B) en voert deze door de gevelunit naar buiten af (Figuur 2.12A). Gelijktijdig voert ventilator V2 de droge maar koude buitenlucht door de gevel unit naar binnen waarna deze door het verdeelkanaal van de buitenlucht (Figuur 2.11.) net voor de LBK met ventilator V3 in de kas wordt ingevoerd. Het is dan de bedoeling dat ventilator V3 deze lucht opneemt en via het slangensysteem in de kas verdeelt. Bij het ontvochtigen moet dus altijd alle 3 de ventilatoren draaien.

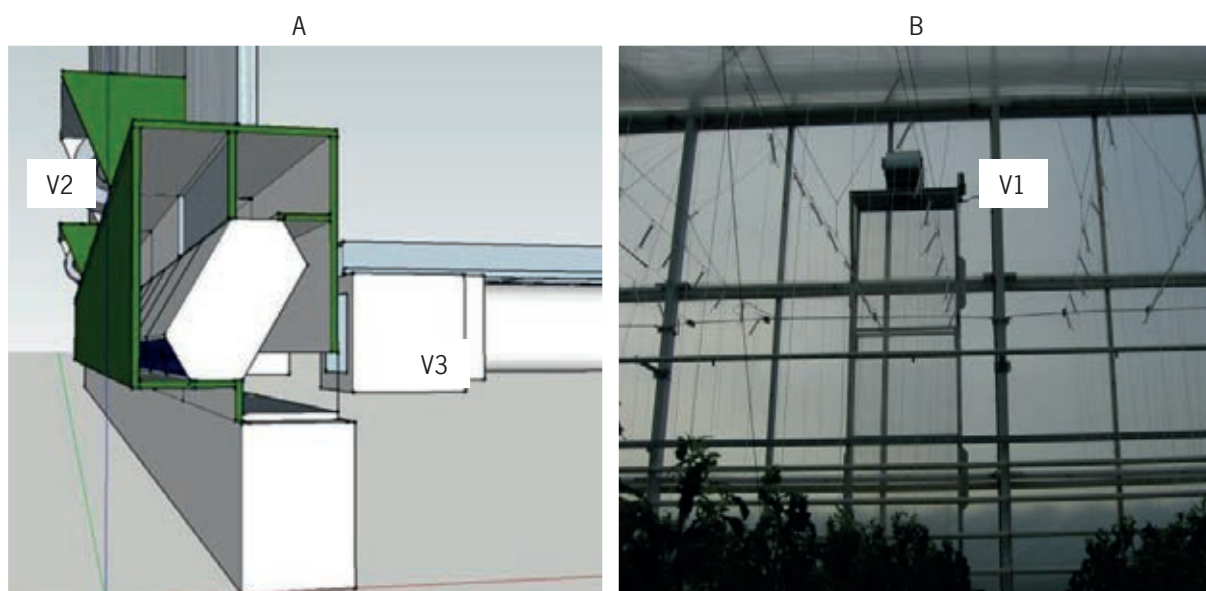


Figuur 2.10. Verwarmingssysteem in de slang (A) en het doorlussen van de slangen (B)

Ventilator V3 heeft een tweede functie als er alleen verwarmd moet worden. Dan zorgt deze ventilator voor het rondpompen van de lucht in de kas om deze via de LBK en de verwarming in de slang te verwarmen. Ventilator V1 en V2 zijn dan uitgeschakeld. De luchtverwarming via de slang kent 2 verwarmingsgroepen die onafhankelijk van elkaar gestuurd kunnen worden. Één groep is de LBK aan het begin van de slang (Figuur 2.10.) en de tweede groep is het verwarmingssysteem in de slang. Deze zijn onafhankelijk van elkaar stuurbaar om de temperatuurverdeling van de warme lucht in de slang gelijk te kunnen houden. Immers indien de lucht in de slang gaat afkoelen is aan het einde van de slang minder warmteafgifte zodat er horizontale temperatuurverschillen zullen ontstaan.



Figuur 2.11. Lay-out van het air & energy systeem in de kas.



Figuur 2.12. Gevel unit met toevoerventilator V2 en verdeel en verwarmingsventilator V3 (A) en de afvoerventilator V1 (B)

## 2.4 Het teeltconcept

Het teeltconcept is gebaseerd op de ervaringen bij het nieuwe telen. Als aanloop naar deze kasproef is een nota “nieuw kasdek voor het nieuwe telen” (Poot 2011) opgesteld waar de voor en nadelen van een dubbeldek zijn beschreven en hoe daar gewas technisch op te anticiperen en bij te sturen. Hieronder zijn de belangrijkste conclusies uit het betreffende rapport overgenomen.

*Door het berekenen en analyseren van met klimaatmodellen berekende kasklimaten en door het inzoomen op een aantal kritische dagen in het jaar, zijn de effecten van een dubbeldeks kasdek materiaal op het kasklimaat en daarmee op de gewasreactie ingeschat. Bij mogelijke negatieve effecten zijn oplossingen geformuleerd, die de problemen helpen voorkomen. De uitkomsten zijn getoetst bij een expertpanel.*

Voor dubbelglas kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

Effect op kasklimaat	Eventuele gewasreactie	Mogelijke oplossing	Mening expertpanel
's Avonds langzamer afkoelen	Vegetatieve reactie, verstoring plantbalans.	Agressiever ventileren; grotere DIF; aangepaste stengeldichtheid, aantal vruchten; generatiever ras	Eens, wordt als belangrijk aandachtspunt gezien.
Warmere nachten	Hogere etmaaltemperaturen: hogere onderhoudsademhaling, zwakkere kop	Ventileren	Eens. Ligt in het verlengde van bovenstaande stelling.
's Winters lagere RV overdag	Compactere plant met lagere LAI.	Vernevelen	Niet problematisch, oplossing is niet nuttig.
Overige perioden: hogere RV	Meer risico op ziekten en fysiogene afwijkingen.	Agressiever ventileren, grotere capaciteit ontvochtiger	Eens, wordt als belangrijk aandachtspunt gezien.
Vochtiger microklimaat	Meer risico op ziekten	Groeibuis, ontvochtigen met luchtslurven tussen het gewas, verticale luchtbeweging m.b.v. verticale ventilatoren	Eens. Ligt in het verlengde van bovenstaande stelling.
Temperatuurgradiënt onderin kouder	Langzamer afrijpen / uitgroeien vruchten	Groeibuis	Eens, wordt als belangrijk aandachtspunt gezien.

Overall conclusie was dat er op voorhand geen belemmeringen waren die voor de teelt onoverkomelijk zou zijn. Met het rustig stoken, ontvochtigen met buitenlucht en het minimaliseren van het minimumbuisgebruik zal een forse energiebesparing mogelijk zijn zonder concessie aan gewaskwaliteit en productie te hoeven doen. In dit concept moet het mogelijk zijn om een jaarrond tomatenteelt uit te kunnen voeren met een warmtegebruik van 15 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> a.e.

## 2.5 De teelten

Omdat de kas in de zomer van 2010 omgebouwd is, lag een herfstteelt komkommer voor de hand. Hiermee konden de systemen getest en een vervolgteelt op een meer praktijk conform moment gestart worden. De keus voor vervolgteelten is vervolgens op tomaat gevallen. Reden voor deze keus was dat een bewezen werking van het kas en teeltconcept bij tomaat voor een grote range van gewassen als toepasbaar geacht kan worden. Door het voor de tomatenteelt bekende temperatuurpatroon met grote voornachtverlaging en vervolgens weer opstoken naar dagwaarden, de grotere ontvochtigingsvraag en het moeilijker afkoelen van deze kas, wordt energetisch en stuurtechnisch meer gevraagd dan bij een teelt met een constante temperatuur.

Op 6 augustus 2010 is dan ook een hogedraadteelt komkommer met het standaard ras Ranomi (Monsanto) met een plantdichtheid van 2.2 st/m<sup>2</sup> gestart en op 11 november beëindigd.

Op 23 december 2011 is een tomatenteelt gestart met het ras Komeett. De plantdichtheid was 2.55 st/m<sup>2</sup>, waarbij een extra stengel 1 op 2 naar 3.83 st/m<sup>2</sup> is aangehouden. Op 18 november 2011 zijn de laatste vruchten geoogst.

Op 23 december 2011 is opneem een tomatenteelt met het ras Komeet gestart. Plant en stengeldichtheid zijn gelijk gehouden aan 2011. Alleen de laatste oogstdatum is opgeschoven naar 27 november 2012.

## 3 Kasklimaat en energiehuishouding

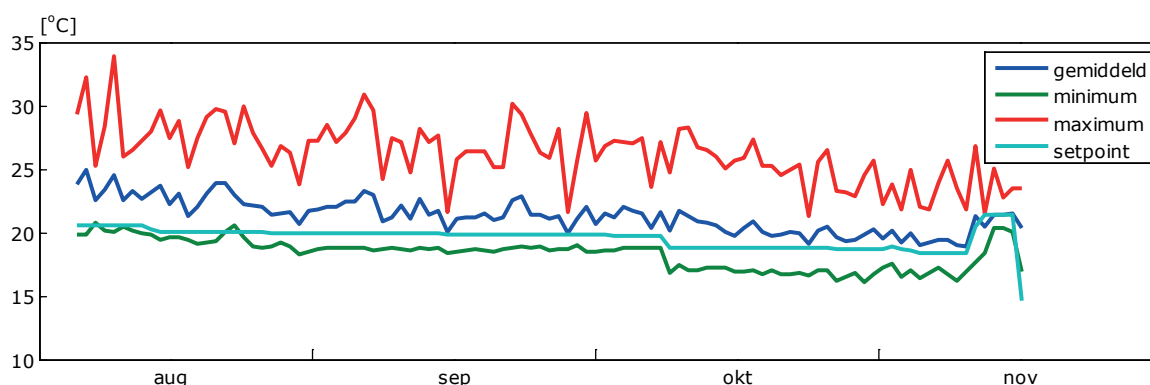
De Venlow Energy kas is op 6 augustus 2010 in gebruik genomen met een komkommerteelt volgens het hoge draad principe. De teeltjaren 2011 en 2012 is er een tomatenteelt ingezet. In dit hoofdstuk zullen de komkommerteelt apart en de twee tomatenteelten gezamenlijk besproken worden omdat deze goed vergelijkbaar zijn.

### 3.1 Kasluchttemperatuur, luchtvochtigheid en CO<sub>2</sub>concentratie

De toepassing van de teeltstrategie die rond Het Nieuwe Telen is ontwikkeld, betekent dat er op de meeste dagen een heel groot verschil is tussen de minimale en maximale temperatuur. Door een grote temperatuurrange toe te staan kan een hoge etmaaltemperatuur worden gerealiseerd met een maximale gebruikmaking van het zonlicht. Door de stooklijn laag te leggen en de ventilatielijn hoog, wordt het stoken zo lang mogelijk uitgesteld en het afluchten van warmte, die via de zon is ingebracht, tot een minimum beperkt. Er is zo min mogelijk gebruik gemaakt van een minimumbuis- of minimumraam-instelling. In de eerste teelten werd dit nog enkele malen gebruikt om de “veilige” kant op te zoeken. In verloop van de tijd is bij het toenemend vertrouwen in het concept het gebruik van minimum buis en ventilatie verminderd en in het teeltjaar 2012 volledig achterwege gebleven.

#### 3.1.1 Komkommer

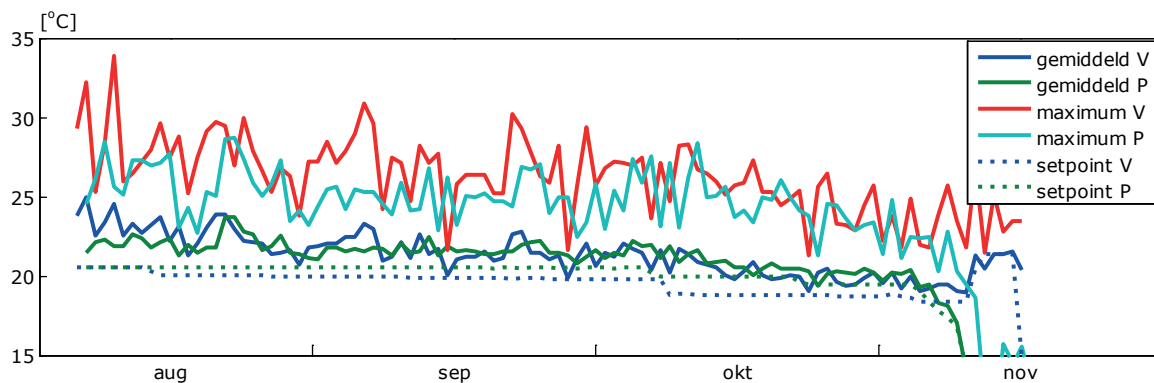
Onderstaande figuur toont de gemiddelde etmaaltemperatuur, de minimum- en de maximumtemperatuur over de proefperiode en het gemiddelde setpoint verwarmen.



Figuur 3.1. Verloop van de gemiddelde, minimale en maximale kasluchttemperatuur en het gemiddelde setpoint verwarmen in de Kas over de proefperiode van 2010.

De grafiek toont dat op de meeste dagen het verschil tussen minimum en maximumtemperatuur behoorlijk groot is, maar dat er ook dagen zijn waarop de maximumtemperatuur maar een paar graden boven de minimumtemperatuur ligt. Dit betreft vooral de najaarsdagen, maar zelfs in de nazomerperiode komt dit af en toe voor. In het begin worden behoorlijk hoge maximumtemperaturen bereikt. Het jonge gewas heeft hier nog te weinig koelvermogen om de kasluchttemperatuur effectief te verlagen.

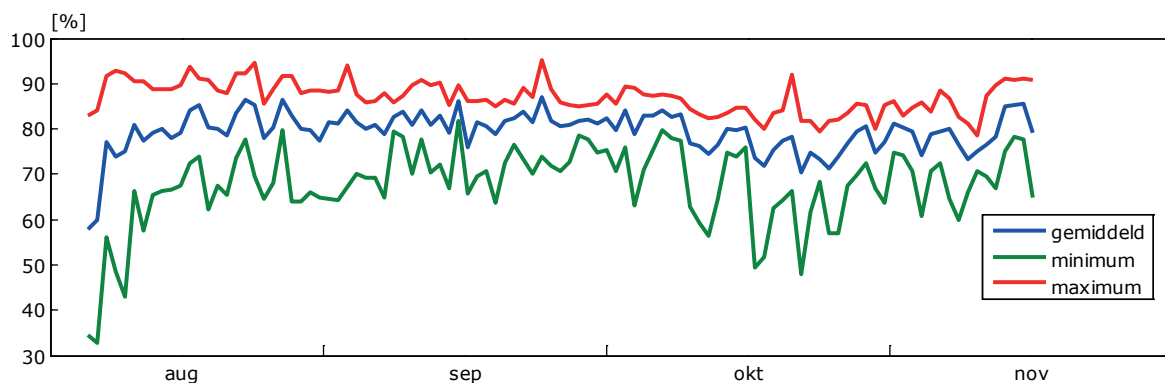
De etmaaltemperaturen zijn goed vergelijkbaar met de praktijk. Voor vergelijking van deze proef met de praktijk is gebruik gemaakt van een komkommerteelt met een hoge draadsysteem in Brabant. Hoewel het buitenklimaat door de geografische ligging behoorlijk kan verschillen met Bleiswijk, is voor het productie vergelijk het teeltsysteem belangrijker dan het buitenklimaat zodat hier toch voor gekozen is. Het is niet de bedoeling dit kassysteem met de praktijk te vergelijken maar het geeft een goede indicatie of de kas kan presteren wat men in de praktijk verlangt. In Figuur 3.2. is voor etmaal temperatuur, de maximum temperatuur en het setpoint verwarmen dit vergelijk tussen Venlow Energy kas (V) en praktijk (P) gemaakt.



Figuur 3.2. Verloop van de gemiddelde en maximale kasluchttemperatuur van de Venlow Energy kas (V) en de praktijk (P) en het gemiddelde setpoint verwarmen van deze kassen over de proefperiode van 2010.

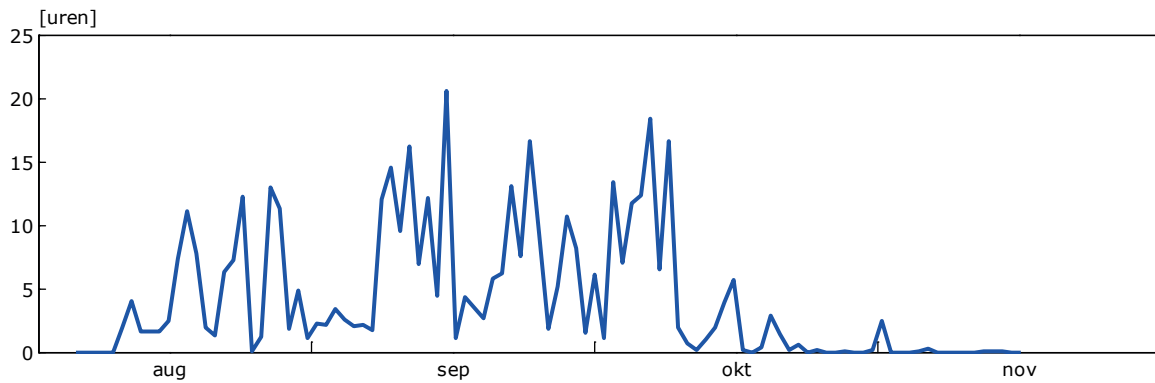
In het begin van de teelt zijn de etmaaltemperaturen wat hoger dan de praktijk wat verklaard kan worden uit het verschil in plantdatum, de praktijk was ruim 1 week vroeger. Ondanks het wat lager gekozen setpoint verwarmen zijn de gerealiseerde etmaaltemperaturen vrijwel gelijk. Het praktijkbedrijf beëindigd de teelt ook enkele dagen eerder. De maximum gerealiseerde temperaturen liggen in de Venlow Energy kas vrijwel altijd wat hoger dan in de praktijk. De beperkte ventilatiecapaciteit en het sneller opwarmen van de kas kunnen hierbij een rol spelen.

Figuur 3.3. toont het verloop van de gemiddelde, minimale en maximale luchtvochtigheid in de kas. Vooral de lage niveaus aan het begin van de teelt zijn opvallend ondanks de ruime inzet van de verneveling die in die fase tot wel 4 uur per dag verneveld heeft. Na half oktober is de verneveling uitgeschakeld. De maximum vochniveaus komen vrijwel niet boven de 90% uit. Dat heeft uiteraard ook te maken met het ontvochtigingssysteem welke is ingezet. Het setpoint waarop deze is ingeschakeld heeft tussende 88% (begin van de teelt) en 85% (vanaf begin september) gelegen. Tijdens deze teelt heeft de RV niet meer dat 66 uur boven de 90% gezeten met een maximum van 95%.



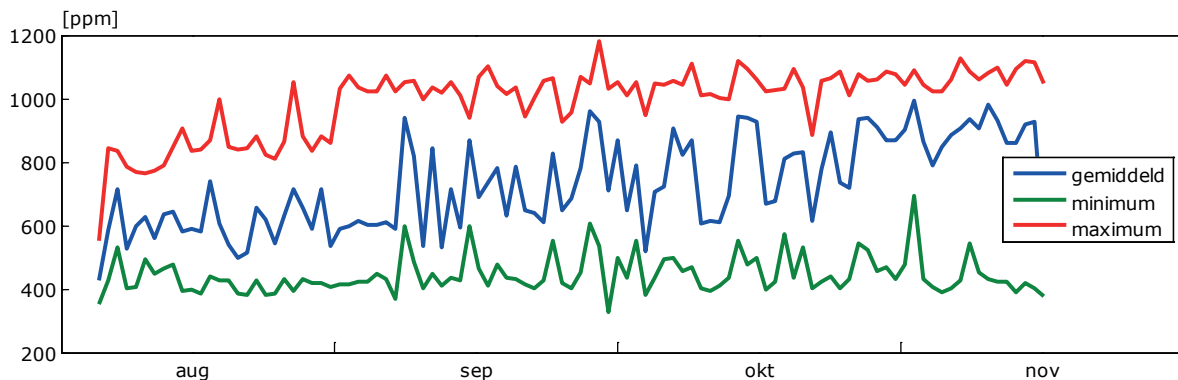
Figuur 3.3. Verloop van de gemiddelde, minimale en maximale luchtvochtigheid in de kas over de proefperiode van 2011.

Om dit te bereiken is de ontvochtigingsinstallatie veelvuldig gebruikt. Figuur 3.4. geeft de gebruiksduur per dag aan dat de unit in bedrijf is geweest. In deze herfstteelt is de unit in totaal 429 uur in bedrijf geweest.



Figuur 3.4. Gebruiksduur per dag van de ontvochtigingsunit over de proefperiode van 2011.

Figuur 3.5. laat de gemeten gemiddelde  $\text{CO}_2$ -concentratie over de dagperiode zien, waarbij het gemiddelde alleen berekend is over de uren waarop de lichtintensiteit boven de  $10 \text{ W/m}^2$  was. De nachturen, waarop de concentratie vaak kan oplopen tot waarden boven de  $1000 \text{ ppm}$  zijn in de berekening dus niet meegenomen. Wel is de doseerperiode niet exact gelijk aan de zon-periode. In de middag wordt er ruim voor zonondergang gestopt met doseren. Omdat er dan ook vaak geventileerd wordt kan  $\text{CO}_2$  concentratie snel kleiner worden waardoor de minimumwaarde ook behoorlijk onder het setpoint niveau kan komen.



Figuur 3.5. Verloop van de  $\text{CO}_2$ -concentratie in de kas over de proefperiode van 2011. Met de dagperiode worden de uren bedoeld waarop de buitenstraling meer dan  $10 \text{ W/m}^2$  bedraagt.

De concentratie in de kas is tot 3 september geregeld op  $800 \text{ ppm}$ , daarna op  $1000 \text{ ppm}$ . In een groot deel van de teeltperiode wordt dit overdag goed gerealiseerd

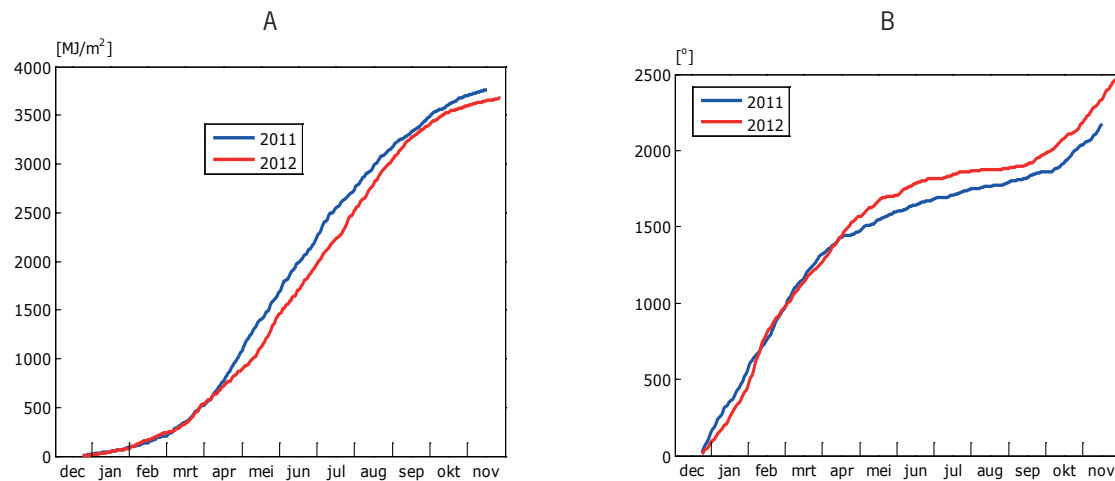
### 3.1.2 Tomaat

In deze paragraaf worden de twee teeltjaren 2011 en 2012 met elkaar vergeleken in de wetenschap dat het kasklimaat ook sterk afhankelijk is van het buitenklimaat. Voor de gewasproductie is licht een belangrijke factor en voor het energiegebruik het aantal graaddagen. Graaddagen zijn hier gedefinieerd als het verschil tussen de etmaaltemperatuur buiten ten opzichte van  $18^\circ\text{C}$ . In Figuur 3.6A is de cumulatieve lichtsom (buiten de kas gemeten) gegeven en in Figuur 3.6B de ontwikkeling in graaddagen tijdens deze twee teeltjaren. De startdata van beide teelten is gelijk, waar de grafiek eindigt is de einddatum van de teelt. Medio november was de lichtsom in 2011 ca. 3% hoger dan in 2012. Dit verschil was tussen half april en half mei ontstaan en liep op tot meer dan 13% eind juni. Vanaf augustus is de achterstand grotendeels ingehaald. Het verschil in lichtsom is een indicatie dat de productie in 2012 wat lager uit zou kunnen vallen dan in 2011.

Graaddagen zijn gedefinieerd als het verschil tussen  $18$  en de etmaaltemperatuur van de buitenlucht. Een dag met een etmaaltemperatuur van  $3^\circ\text{C}$  krijgt dan 15 graaddagen. Bij een etmaaltemperatuur van boven de  $18^\circ\text{C}$  worden voor die

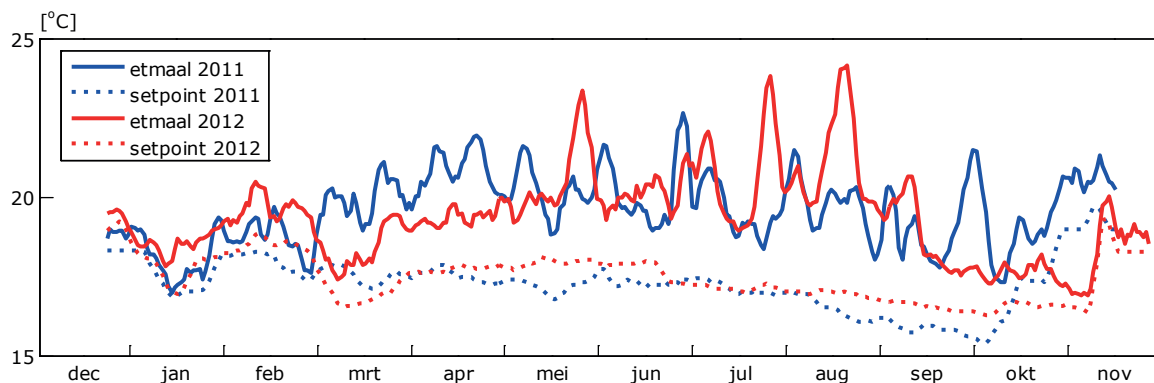


dag geen graaddagen geteld. In Figuur B blijkt het verschil in graaddagen half november tot ca. 7% te zijn opgelopen. Dit is een indicatie dat het energiegebruik in 2012 hoger uit zou kunnen vallen dan in 2011.



Figuur 3.6. cumulatieve lichtsom (A) en de ontwikkeling in graaddagen (B) tijdens de twee teeltjaren.

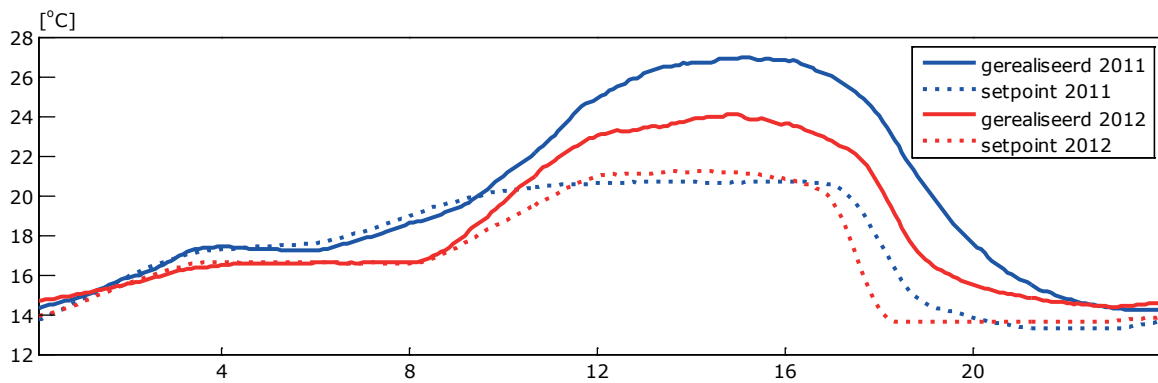
In onderstaand Figuur 3.7 zijn de etmaalgemiddelde kasluchttemperaturen van 2011 en 2012 en de setpoint verwarmen temperaturen van beide teeltjaren getoond. Om het onderscheid tussen de jaren beter zichtbaar te maken is een voortschrijdend gemiddelde over 5 dagen gebruikt. De figuur laat goed zien dat er soms totaal anders is gestuurd, wat uiteraard gedreven wordt door onder andere de gewasstand. Dit komt tot uiting in het setpoint verwarmen. De gerealiseerde etmaaltemperatuur is veel meer een gevolg van de buitenomstandigheden. Het mooie voorjaar van 2011 vertaalt zich duidelijk in een hogere etmaal temperatuur in april 2011. De sombere zomer van 2011 zorgt ook voor gematigde temperaturen. In 2012 zijn er eind juli en eind augustus een paar erg warme dagen geweest. Beide jaren is de kasluchttemperatuur ca. 40 uur boven de 30 graden gestegen. Wordt deze grens op 25 graden gelegd, dan is er wel een duidelijk verschil; in 2011 950 uur een kasluchttemperatuur boven de 25 °C en in 2012 slechts 640 uur.



Figuur 3.7. Etmaal gemiddelde kaslucht en setpoint verwarmen-temperaturen voor teeltjaar 2011 en 2012.

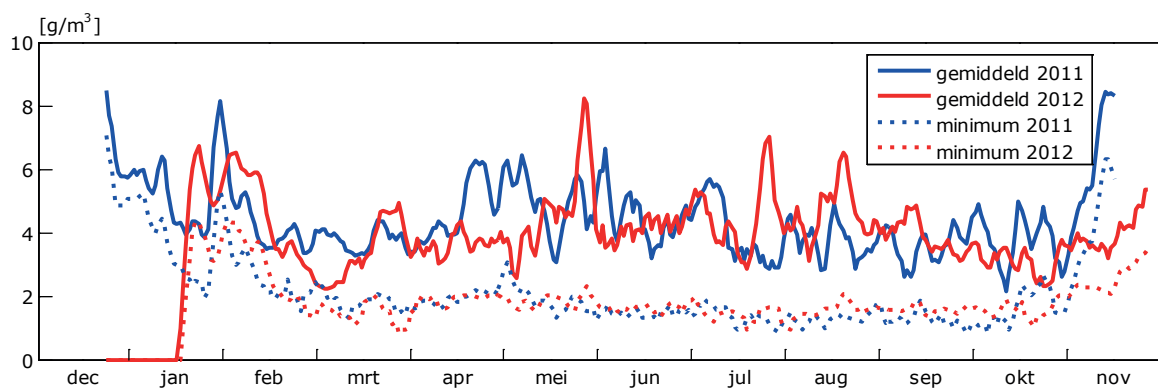
De klimaatsturing was in 2012 met name in de nacht wat anders, in 2012 is vroeger begonnen met het opstoken en de nachttemperatuur lag ook wat hoger dan in 2011. Om dit te illustreren is van de maand maart in het volgende figuur het cyclisch gemiddelde van het setpoint verwarmen en van de gerealiseerde kasluchttemperatuur gegeven. Bij een cyclisch gemiddelde wordt gemiddelde verloop gedurende een periode, in dit geval een etmaal, getoond. In 2012 is er in de nacht beduidend rustiger gestookt en is ook pas duidelijk later opgestookt naar dagtemperatuur. Om 8 uur in de morgen scheelde dat gemiddeld 2 °C wat fors te noemen is. Ook komt de maximum dagtemperatuur in 2012 gemiddeld 3 graden lager uit in deze maand, terwijl er slechts een beperkt verschil in straling is deze maand als de twee jaren vergeleken worden. De gerealiseerde etmaaltemperatuur was deze maand in 2011 ruim 1.5 °C hoger dan in 2012.





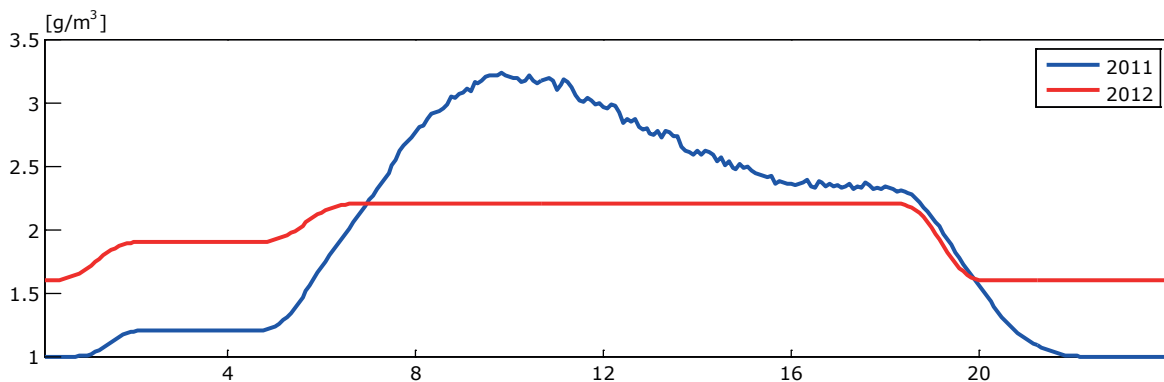
Figuur 3.8. Cyclisch gemiddelde kaslucht en setpoint verwarmen-temperaturen in de maand maart van het teeltjaar 2011 en 2012.

In onderstaand figuur is de gemiddelde en het minimale vochtdeficiet in de kas van beide teeltjaren op dagbasis gegeven. De pieken zijn laag geweest, tot minimaal  $1 \text{ g/m}^3$ . Het vochtdeficiet is in 2011 in totaal ruim 280 uur onder de  $1.5$  en in 2012 190 uur onder de  $1.5 \text{ g/m}^3$  geweest. Dit verschil zit in de manier van vochtregeling. In 2011 is in de nacht en vroege ochtend een lager vochtdeficiet ingesteld. Dit zijn de gegevens van de meetbox waarop ook de ontvochtigingsinstallatie gestuurd wordt. Van teeltstart tot half januari 2012 was deze meetbox buiten bedrijf, echter dat is ook de periode dat er niet op vocht geregeld wordt.



Figuur 3.9. Verloop van de gemiddelde en maximale luchtvochtigheid in de kas van teeltjaar 2011 en 2012, gegevens als voortschrijdend gemiddelde over 4 dagen weergegeven.

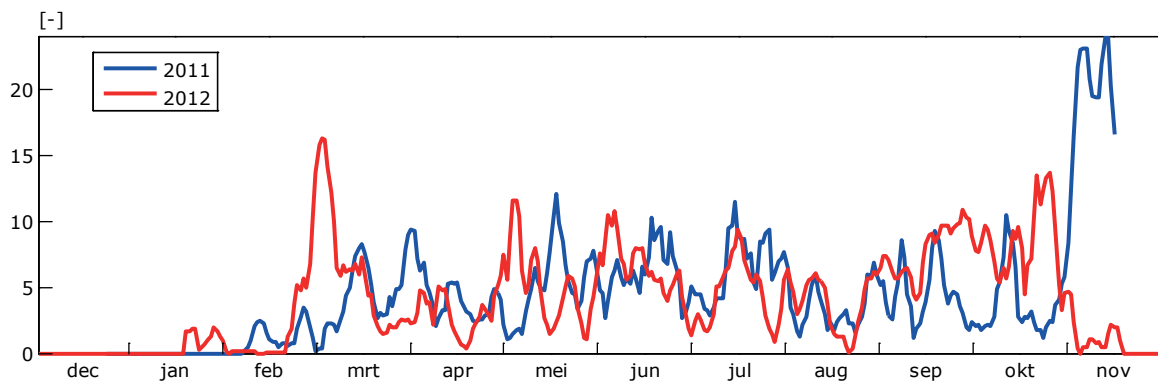
Het verschil in vochtregeling tussen teeltjaar 2011 en teeltjaar 2012 is voor de maand april in volgend figuur weergegeven.



Figuur 3.10. Cyclischgemiddelde van het vochtdeficiet setpoint in de maand april van het teeltjaar 2011 en 2012.

In 2011 is er een beduidend lager setpoint in de nacht aangehouden, met daarnaast een lichtafhankelijkheid tussen zon opkomst en ca. 16:00. Het verschil in de nacht zoals aangegeven in Figuur 3.10. komt niet duidelijk terug in Figuur 3.9. Dit is het gevolg van het beperkte aantal uren met een laag ( $< 2 \text{ g/m}^3$ ) vochtdeficiet in de maand april, respectievelijk 16 en 14 uur in 2011 en 2012.

Zoals in paragraaf 2.3.1 beschreven, is in de teeltwisseling 2011 - 2012 de ontvochtigingsinstallatie vernieuwd. Daardoor zijn o.a. capaciteiten wat anders geworden. Toch geeft het vergelijk van de gebruiksduur van het ontvochtigingssysteem over beide jaren wel goed inzicht hoeveel inzet van zo'n systeem nu benodigd is. In het volgende Figuur (3.11) is de gebruiksduur tijdens de teelt van het ontvochtigingssysteem dan ook gepresenteerd.

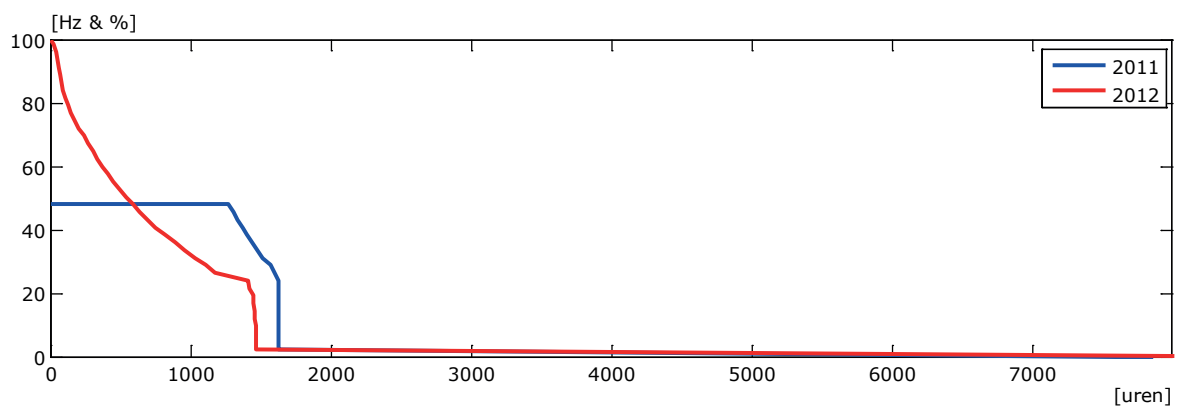


Figuur 3.11. Gebruiksduur van het ontvochtigingssysteem gedurende het teeltjaar 2011 en 2012. Weergave is een voortschrijdend gemiddelde over 4 dagen.

De figuur laat twee perioden met opvallende verschillen zien, november 2011 en eind februari begin maart 2012. In beide perioden zijn tests uitgevoerd om de werking van de systemen te testen. Voor half februari is er vrijwel geen vochtprobleem en wordt het systeem ook niet ingezet. In november is de plant bijna kaal en ligt de verdamping ook laag zodat er weinig ontvochtigd hoeft te worden. De test in 2011 was gericht op het elektriciteitsgebruik van het systeem. De totale gebruiksduur in beide jaren was 1625 om 1470 uur voor respectievelijk 2011 en 2012, goed vergelijkbare getallen. De uiteindelijke inzet van het systeem was echter heel anders. De ventilatoren in het systeem kunnen in toeren geregeld worden. In 2011 ging dat via een frequentieregelaar en in 2012 zijn er EC motoren (electronically commutated) gebruikt. De klimaatcomputer kan bij EC motoren rechtstreeks een stuursignaal tussen 0 en 10 V sturen. De regeling bij de EC motoren werkt dan ook in procenten van het maximale toerental terwijl de frequentieregelaar in Hz stuurt.

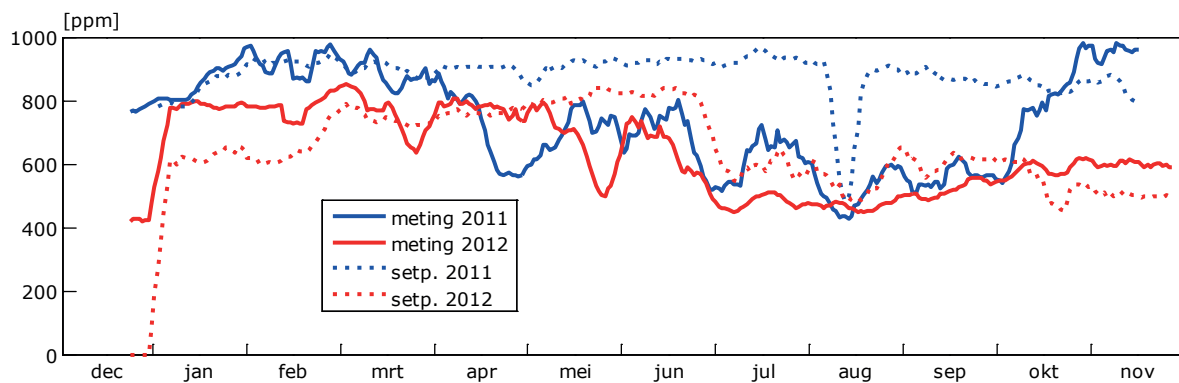
In het volgende Figuur (3.12) is een jaarbelastingduurkromme van de ventilatoren van de ontvochtigingsinstallatie gegeven. Het teeltjaar 2011 als Hz (maximaal 50) en 2012 als percentage.

Het is opvallend dat in 2011 er erg veel op volle capaciteit is ontvochtigd terwijl in 2012 er juist heel sterk gemoduleerd is.



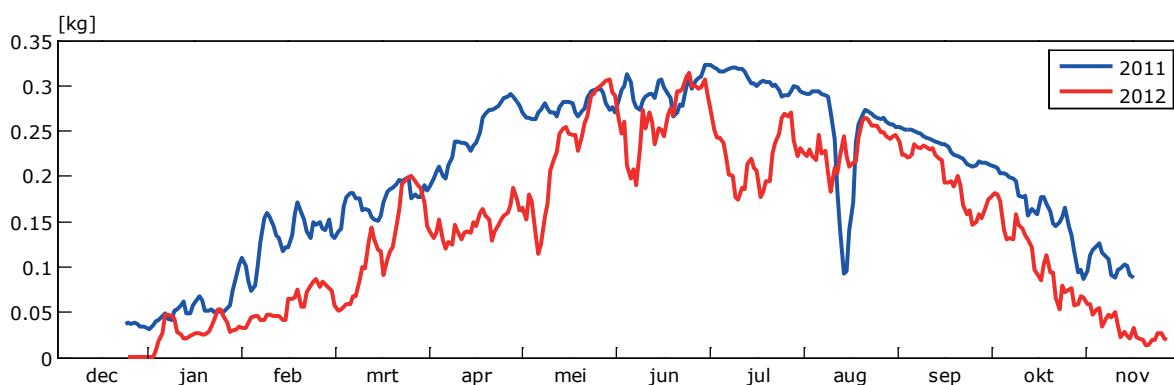
Figuur 3.12. Jaarbelastingduurkromme van de inzet van de ventilatoren van het ontvochtigingssysteem gedurende het teeltjaar 2011 en 2012.

De CO<sub>2</sub> dosering is deze twee teeltjaren verschillend benaderd. In Figuur 3.13. zijn het CO<sub>2</sub> setpoint en de CO<sub>2</sub> meting als etmaalgemiddelde weergegeven. Hierbij is alleen de lichtperiode (globale straling > 10 W/m<sup>2</sup>) in ogenschouw genomen. Er zijn 2 duidelijke verschillen; het absolute niveau verschil en de sprong van in ieder geval het CO<sub>2</sub> setpoint naar beneden in juni 2012. In 2011 is jaarrond een vrijwel vast setpoint niveau gedurende de daglichtperiode aangehouden van 800 tot 850 ppm met een lichtverhoging tot maximaal 1000 ppm. In 2012 is dat herhaald maar is tot half februari een maximum niveau van 750 ppm aangehouden en tot half juni 850 met 150 ppm lichtverhoging. In Juni is tijdens een BCO vergadering besloten meer bij een CO<sub>2</sub> proef aan te sluiten waarop het basis niveau naar 550 ppm is teruggebracht maar wel een lichtverhoging van 300 ppm. Dat deze gewenste niveaus vervolgens niet gehaald worden in een groot deel van het jaar zal niet verbazen, immers in deze kas overheerst de ventilatie in de periode april -oktober zodat de doseercapaciteit van 200 kg/ha/uur, ontoereikend is om het CO<sub>2</sub> verlies door de ramen te compenseren. Ook perioden met langdurig mooi weer waarbij veel geventileerd wordt, zijn te herkennen in het gerealiseerde CO<sub>2</sub> niveau.



Figuur 3.13. Etmaal gemiddelde CO<sub>2</sub> meting en CO<sub>2</sub> setpoint gedurende het teeltjaar 2011 en 2012. Waarden zijn bepaald over de dag periode en gegevens zijn als voortschrijdend gemiddelde over 7 dagen weergegeven.

Door deze instellingen, met de bijbehorende doseercapaciteit is er in deze teelten veel CO<sub>2</sub> gedoseerd. In Figuur 3.14, is de gedoseerde hoeveelheid CO<sub>2</sub> per vierkante meter dag getoond. Dit komt overeen met een totaal van 66 en 50 kg/m<sup>2</sup> voor respectievelijk 2011 en 2012. Door het gebruikte meetsysteem is hier een grote meetonnauwkeurigheid van toepassing. Daarnaast is er regelmatig storing geweest in de OCAP CO<sub>2</sub> voorziening. Omdat er geen gebruik gemaakt is van een mass flow controler, kan het, in perioden waarin ocap niet in bedrijf was, voorkomen dat er in deze methodiek wel gedoseerd CO<sub>2</sub> is geteld terwijl er feitelijk niet gedoseerd is.



Figuur 3.14. Dagsom gedoseerd CO<sub>2</sub> gedurende het teeltjaar 2011 en 2012. Gegevens zijn als voortschrijdend gemiddelde over 4 dagen weergegeven.

### Samenvattende conclusie t.a.v. klimaat in de drie teelten.

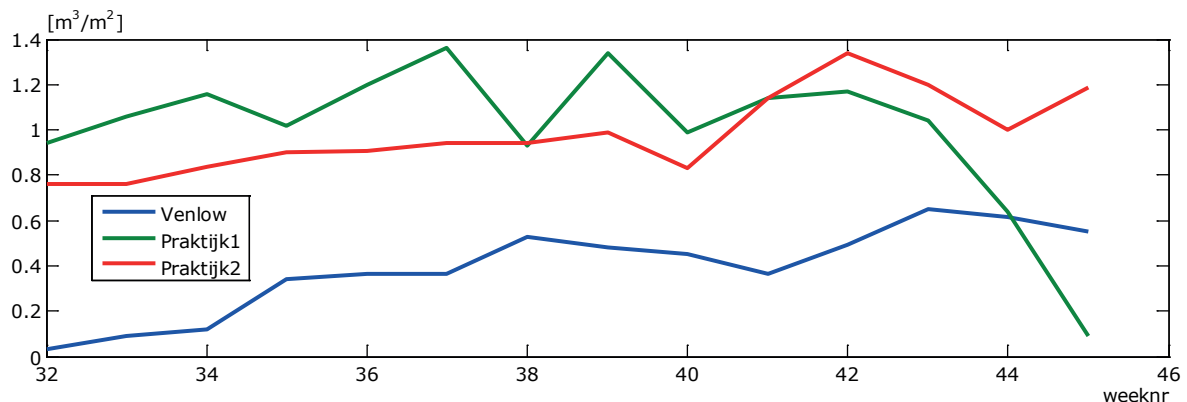
- Door een aangepaste CO<sub>2</sub> doseerstrategie is in 2012 25% minder CO<sub>2</sub> gedoseerd dan in 2011. Welke gevolgen dit op de productie heeft gehad is niet vast te stellen door het gebrek aan vergelijk.
- Op jaarbasis is de ontvochtigingsunit ca. 1500 á 1600 uur gebruikt.
- De kas warmt sneller op en koelt langzamer af dan een kas met een enkeldek en er is dus conform de verwachtingen meer en agressiever gelucht voor temperatuurcontrole.
- Het gerealiseerde kasklimaat heeft niet tot gewastechnische problemen geleid

## 3.2 Energiehuishouding

Het uiteindelijke doel van kassen zoals de Venlow Energy kas is de realisatie van een klimaatneutrale tuinbouw, en in dit geval een klimaatneutraal concept voor een niet belichte glasgroententeelt. Omdat dit kasconcept geen warmte oogst moet het lage verbruik dus zuiver van de besparing komen en hierbij moet de toename in het elektriciteitsgebruik geminimaliseerd worden.

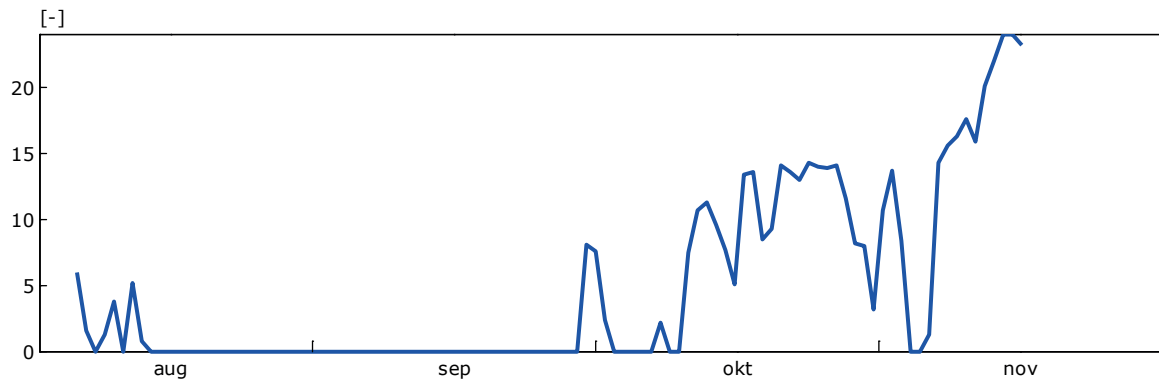
### 3.2.1 Komkommer

Onderstaande Figuur 3.15 toont de warmtevraag van de komkommer herfstteelt. Dit verbruik wordt vergeleken met 2 praktijkbedrijven die in de vergelijkbare periode ook een hogedraadteelt hadden staan. Het bedrijf Praktijk1, welke ook in paragraaf 3.1 is gebruikt, is iets eerder met de teelt gestopt. De figuur maakt direct een enorm verschil in energiegebruik duidelijk. Voor de hele herfstteelt was in de Venlow Energy kas 5.5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> benodigd terwijl voor praktijk1 en praktijk2 respectievelijk 14.1 en 13.8 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> nodig was.



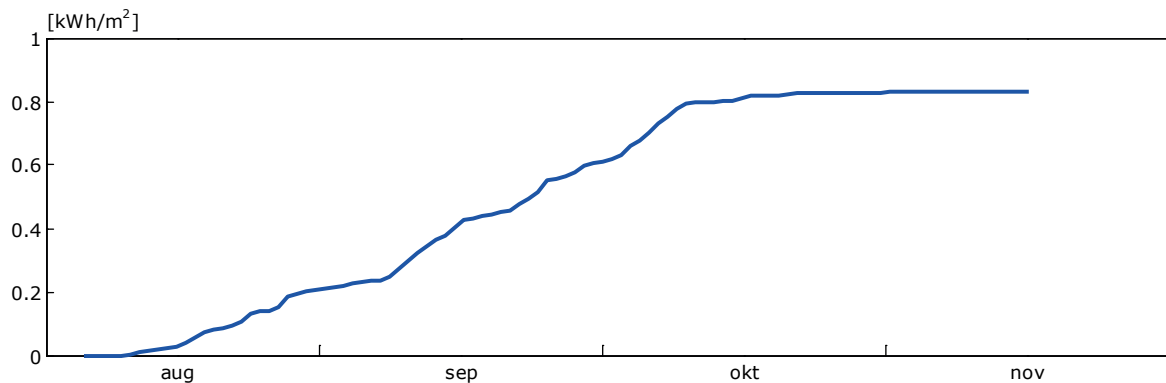
Figuur 3.15. Gemeten warmteverbruik van de Kas over de meetperiode uitgedrukt in m<sup>3</sup> aardgas equivalenten.

De besparing die bereikt is ten opzichte van de praktijk is dus ruim 60%. Een deel van de besparing komt ook van het schermgebruik wat in volgend figuur is weergegeven. De schermuren van begin augustus zijn zonweringsuren om de jonge plant tegen teveel licht te beschermen. De laatste week heeft het scherm vrijwel continue dichtgelegen, Figuur 3.16. Deze herfstteelt is het scherm nog 480 uur gebruikt.



Figuur 3.16. Schermgebruik van de kas over de meetperiode.

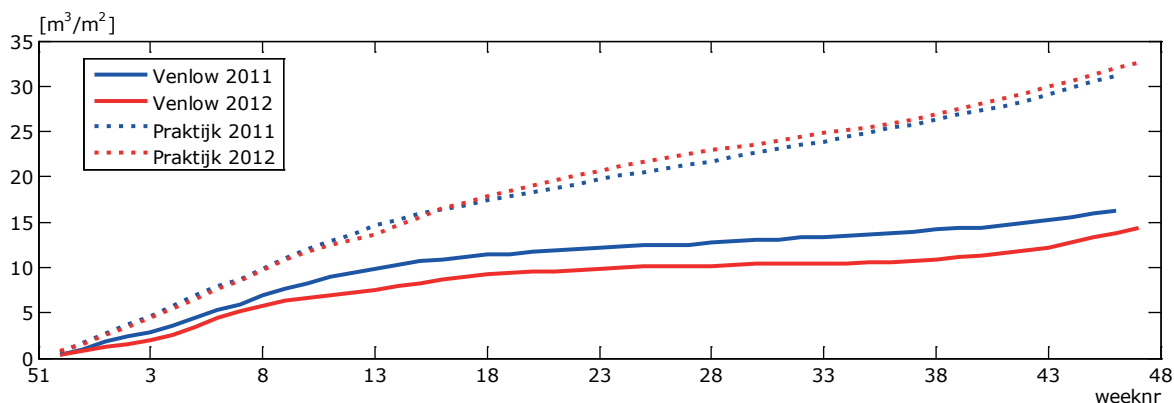
Tegenover de besparing aan warmte staat een meerverbruik van elektriciteit, immers bij het ontvochtigen is gebruik gemaakt van ventilatoren. In het volgende Figuur (3.17) is cumulatief het elektriciteitsgebruik van de ontvochtigingssysteem weergegeven. Met een totaal verbruik van 0.85 kWh/m<sup>2</sup> is dit gebruik gering te noemen.



Figuur 3.17. Cumulatief elektriciteitsgebruik van de ontvochtigingsunit over de meetperiode.

### 3.2.2 Tomaat

Figuur 3.18 toont de cumulatieve warmtevraag van de tomatenteelten in 2011 en 2012. Dit verbruik wordt vergeleken met het gemiddelde van 3 praktijkbedrijven die zelf aangeven lage gasgebruiken te realiseren. Deze bedrijfsgroep kent het zelfde ras en vrijwel de zelfde plantdatum. De figuur maakt een groot verschil in het energiegebruik duidelijk. Voor de teelten in de Venlow Energy kas was 16.3 en 14.4 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> aan warmte benodigd terwijl dit voor de praktijk groep respectievelijk 31.2 en 32.6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> was, beiden in respectievelijk 2011 en 2012.



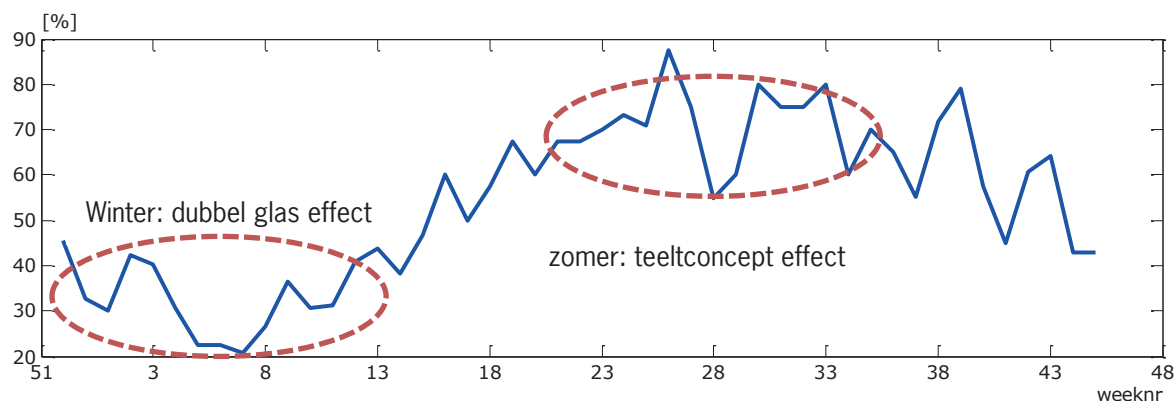
Figuur 3.18. Cumulatief warmteverbruik van de Venlow Energy kas en een praktijkgroep in de teeltjaren 2011 en 2012, uitgedrukt in  $\text{m}^3$  aardgas equivalenten.

De verschillen tussen 2011 en 2012 zijn in de Venlow Energy kas veel groter dan in praktijk. Het verschil is grotendeels in maart ontstaan. In die periode is er duidelijk minder hoog gestookt (Figuur 3.7.). Een andere besparing in 2012 is het gevolg van het nooit toepassen van een minimum buis temperatuur (in 2011 werd die nog enkele malen toegepast). Daarnaast is de kas niet potdicht, met andere woorden er is sprake van lekverliezen. Om die te beperken is van teeltstart 2012 t/m medio mei een vast folie aan de gevel gemonteerd om lekverliezen door de gevel te minimaliseren. Ten slotte moet worden opgemerkt dat bij de kleine warmtevraag er soms ook kleine temperatuurverschillen tussen aanvoer en retour, de meetfout van de warmtemeters toe gaat nemen. Dit zal met name in de zomer een rol kunnen spelen en daarmee een vertekening van de resultaten geven.

Voor het jaar 2011 is in Figuur 3.19. de besparing ten opzichte van de praktijk per week weergegeven. Er zijn duidelijk twee niveaus aan te geven. In de winter wordt het verschil vooral door het dubbelglas bepaald, terwijl in de zomer juist veel meer het teeltconcept een rol speelt.

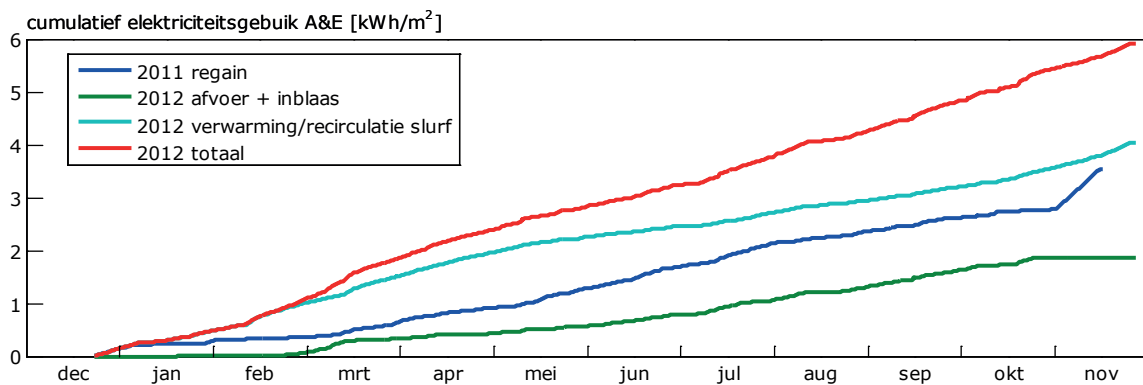
Het lage energiegebruik in de zomer, (van week 19 t/m 37 is er in 2012 slechts  $1.4 \text{ m}^3/\text{m}^2$  gebruikt), heeft nog wel het nadeel dat er te weinig  $\text{CO}_2$  beschikbaar komt en er voor de teelt absoluut een externe  $\text{CO}_2$  bron zoals bijvoorbeeld OCAP beschikbaar moet zijn. In de periode van week 19 t/m 37 is er in de proef een kleine  $30 \text{ kg}/\text{m}^2$  OCAP  $\text{CO}_2$  gedoseerd terwijl er slechts  $2.5 \text{ kg}/\text{m}^2$  beschikbaar zou zijn gekomen bij de opwekking van deze warmte in een ketel. De praktijk dosering aan  $\text{CO}_2$  is niet exact bekend en is alleen in te schatten. Het warmtegebruik van de praktijk in de periode week 19 t/m 37 is  $7.8 \text{ m}^3$  geweest. Indien dit volledig met de wkk is geproduceerd, wat meestal het geval zal zijn geweest, dan zal dat een  $\text{CO}_2$  productie van ca.  $28 \text{ kg}/\text{m}^2$  hebben betekend, een getal wat qua orde grote zeker vergelijkbaar is met de in de proef gedoseerde hoeveelheid  $\text{CO}_2$ .

Aan de energiebesparing zal het schermdoek ook nog een bijdrage hebben geleverd. In 2011 is het scherm 2050 uur en in 2012 2400 uur gebruikt.



Figuur 3.19. Besparing van de Venlow Energy kas ten opzichte van een praktijkgroep in het teeltjaar 2011.

Door de ombouw van regain naar het air & energy systeem in 2012 zal het elektriciteitsgebruik toenemen, immers als de droge buitenlucht in de kas is gebracht, wordt deze door het zelfde systeem verdeeld als waar grotendeels ook mee verwarmd wordt. Er is echter niet goed onderscheid te maken tussen ontvochtiging zonder en met warmtevraag. Daarom is in Figuur 3.20. het elektriciteitsgebruik in 2012 verdeeld in elektriciteitsgebruik voor de afvoer en inblaas ventilatoren en verwarming/recirculatie, die vervolgens zijn gesommeerd in totaal 2012, de rode lijn. Voor 2011 is uiteraard alleen het elektriciteitsgebruik van de regain genomen. De sterke toename in het elektriciteitsgebruik begin november 2011 is het gevolg van testen. Het totaal elektriciteitsgebruik is door toepassing van het air & energy systeem met ca. 3 kWh toegenomen.



Figuur 3.20. Cumulatief elektriciteitsgebruik van ontvochtigingssystemen in 2011 en 2012 en het verwarming/recirculatie systeem in 2012.

In Tabel 3.1. zijn de totaal gebruiken gepresenteerd.

Tabel 3.1. Warmtegebruik, elektriciteitsgebruik en het totaal energiegebruik omgerekend naar m³ aardgasequivalenten voor de teeltjaren 2011 en 2012.

	2011	2012
Warmtegebruik [m³/m²] ae.	16.3	14.4 <sup>1)</sup>
Totaal elektriciteitsgebruik [kWh/m²]	2.8	5.9
Totaal energiegebruik [m³/m²] ae. <sup>2)</sup>	17.0	15.9

1. Eventuele efficiency verbeteringen door dit verwarmingssysteem in het ketelhuis zijn hier niet in opgenomen

2. Totaal energiegebruik is exclusief pompen en motoren t.b.v. watergift, ontsmetting, cv water e.d.

### Samenvattende conclusie t.a.v. energie in de drie teelten.

- Het energiegebruik voor warmte is meer dan gehalveerd ten opzichte van de (zuinige) praktijk.
- In de winter wordt ca. 30 á 40% bespaard ten opzichte van de praktijk ten gevolge van de verbeterde isolatie.
- In de zomer wordt 70 á 80% bespaard ten opzichte van de praktijk ten gevolge van het aangepaste teeltconcept, onder andere geen minimumbuis gebruik.
- Het elektriciteitsgebruik neemt toe met ca. 2 á 3 kWh voor de ontvochtiging.
- In de zomerperiode is er door het lage energiegebruik een tekort aan CO<sub>2</sub>.
- Een toename van het elektriciteitsgebruik door de verwarming met de luchtslangen in 2012 had voorkomen kunnen worden door deze verwarming als extra buisverwarmingssysteem buiten de slurven te plaatsen.

## 3.3 Systemen

In de loop van de teeltjaren zijn er een aantal additionele metingen aan gewas en klimaat verricht. In deze paragraaf volgen de belangrijkste resultaten.

### 3.3.1 Kop en vruchttemperatuur

In de beschrijving van het teeltconcept, paragraaf 2.4, zijn 2 mechanismen besproken waarop in dit kasconcept geanticipeerd moet worden:

1. In een dubbeldekskas zal de koptemperatuur toenemen
2. In een teeltconcept zonder minimumbuis, waar overigens zo wie zo al weinig gestookt wordt, zal vertraging in de afrijping van de vruchten ontstaan.

Er is in deze proef geen gebruik gemaakt van een vaste planttemperatuur meter omdat er geen vergelijkingsafdeling beschikbaar was en deze systemen een betrekkelijk grote onnauwkeurigheid hebben. Daarom is er voor gekozen in een extreme situatie met een handheld camera bladtemperaturen in de kop van de plant te meten. Hierbij is voor controle de referentie afdeling van de diffuus tomaat proef genomen (Dueck, 2011)

Op een warme zomerse dag (28 juni 2011) zijn bladtemperaturen in de kop, ca. 10 á 15 cm onder de kop dus op (eerste) grote blad gemeten. Bij een buitentemperatuur van 31.5 °C was de gemiddelde kasluchttemperatuur tijdens de meetsessie 34.3 en 33.1 °C voor respectievelijk de referentie en de Venlow Energy kas bij een gemiddelde koptemperatuur van 31.4 en 30.3 °C. Het verschil tussen kaslucht en koptemperatuur was met krap 3 °C vrijwel gelijk in de referentie en de Venlow Energy kas.

De vraag is of minder stoken invloed heeft op de vruchttemperatuur en daarmee de uitgroeiduur.

Daarvoor is het verloop van de kasluchttemperatuur en de vruchttemperatuur vergeleken. Voor het bepalen van de vruchttemperatuur is gebruik gemaakt van sensortom sensoren (Hortimax) die zowel de kern als de oppervlakte temperatuur meten, Figuur 3.21.

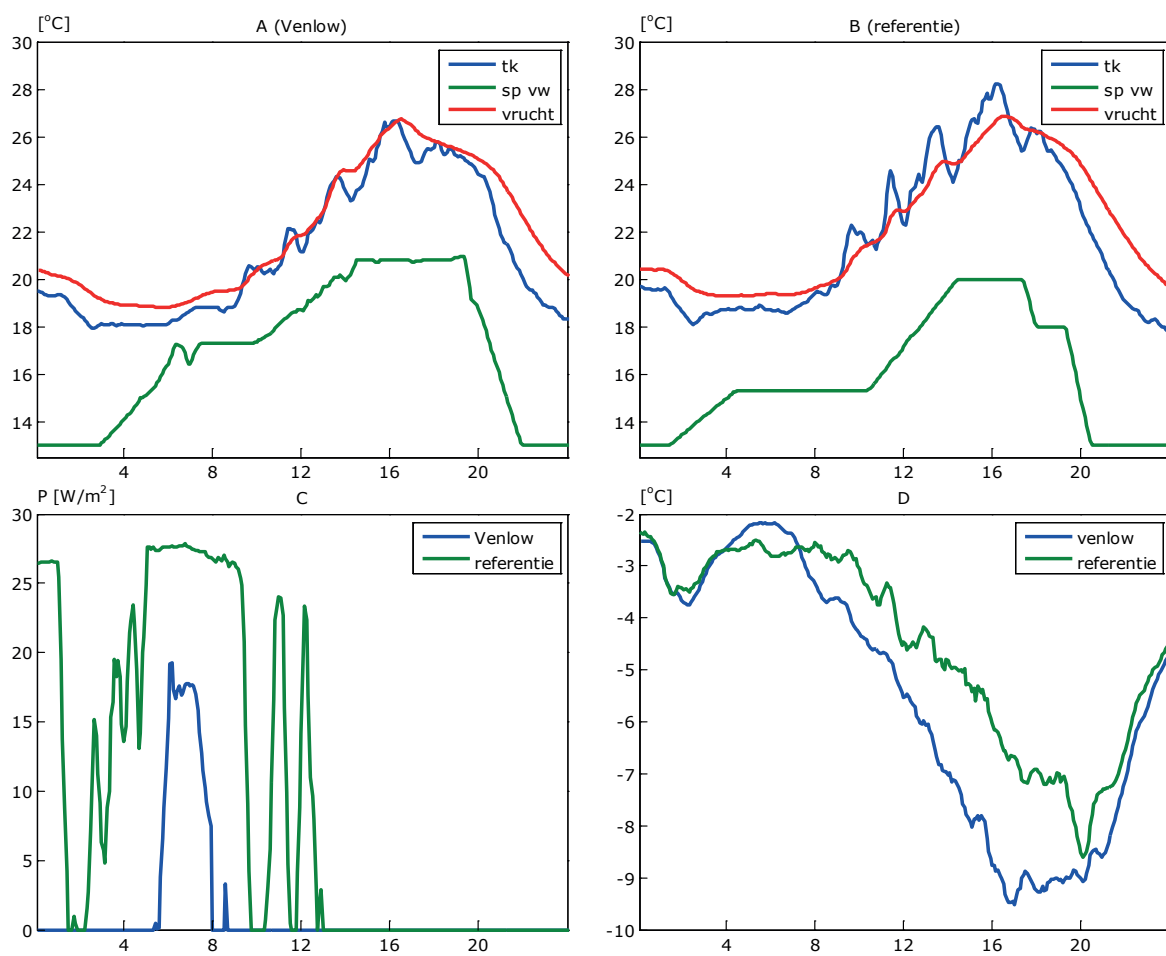


*Figuur 3.21. Locatie van een senortom tussen echte vruchten (oranje pijl).*

De resultaten van een (mooie) dag waar alleen in de nacht is gestookt, 5 augustus, zijn in Figuur 3.22. weergegeven. In de figuur zijn voor de referentie en de Venlow Energy kas de kaslucht- en vrucht-temperatuur, het setpoint verwarmen,

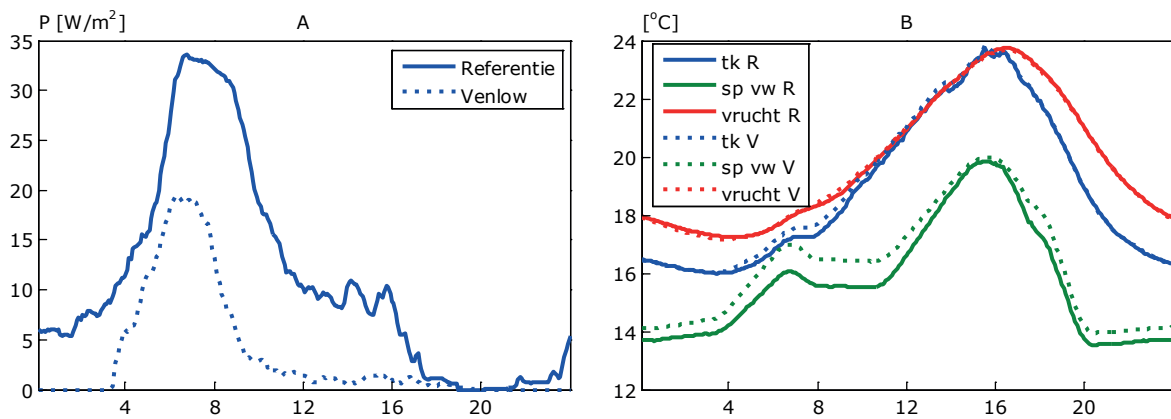


het afgegeven buisvermogen van de verwarming en het verschil tussen de oppervlakte- en dauwpunt-temperatuur van de vrucht gegeven. Zoals de setpointlijnen laten zien kennen de afdelingen verschillende stooklijnen, echter uiteindelijk zijn de verschillen tussen kasluchttemperatuur en kunstvrucht (oppervlaktetemperatuur) in beide afdelingen vrijwel gelijk. In de Venlow Energy kas wordt beduidend minder vermogen over een kortere periode in de kas ingebracht (C). De buisrail is deze dag niet in gebruik. In de nacht/ vroege ochtend is het temperatuurverschil tussen de kunstvrucht en de dauwpunttemperatuur van de kaslucht ook nagenoeg gelijk. Deze dag heeft het andere stookgedrag geen invloed gehad op de vruchttemperatuur. Op langere termijn is er wel een klein verschil waar te nemen (momentaan op de dag) maar waarschijnlijk zullen deze effecten op dagbasis al weggemiddeld worden. Voor vele plantprocessen is een etmaal temperatuur belangrijker dan momentane temperaturen. Dit lange termijn effect, ca. anderhalve maand, is in het volgende Figuur (3.23) gepresenteerd waar het cyclisch gemiddelde van 5 augustus tot 20 september van het afgegeven buisvermogen van de groeibuis (links) en de kaslucht en vruchttemperatuur en het setpoint verwarmen van de Venlow Energy kas (gestreepte lijn) en de referentie afdeling (getrokken lijn) aan de rechterkant. De stookperiode in de Venlow Energy kas is duidelijk korter en er wordt met de groeibuis minder dan de helft aan energie ingebracht dan in de referentie.



Figuur 3.22. Kaslucht en vruchttemperatuur en het setpoint verwarmen van de Venlow Energy kas (A) en de referentie afdeling (B) het afgegeven buisvermogen van de groeibuis (C) en temperatuurverschil tussen de oppervlaktetemperatuur van de kunstvrucht en de dauwpunttemperatuur van de kaslucht (D).

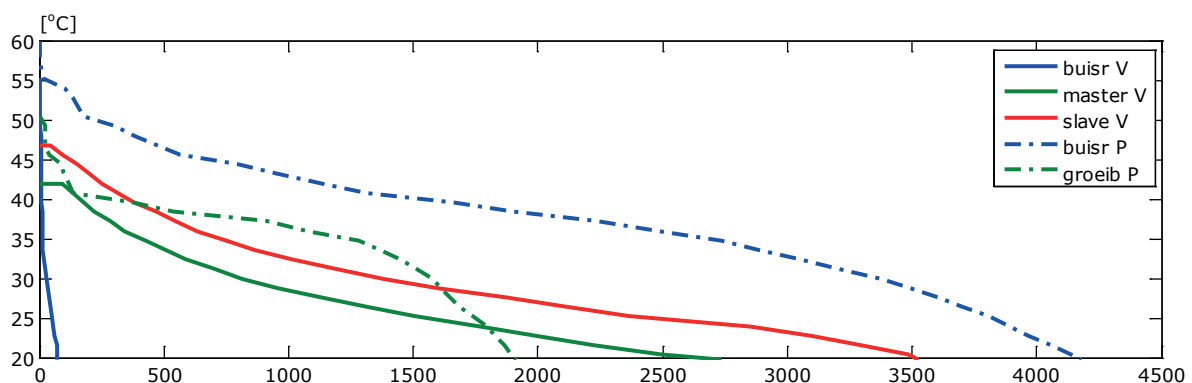
De gerealiseerde kasluchttemperaturen in de nacht en ochtend zijn vrijwel gelijk. Al met al zijn de verschillen in kaslucht- en vruchttemperatuur vrijwel te verwaarlozen. Wel is het opvallend dat de vruchten in de nacht zoveel warmer blijven dan de de kaslucht. De kaslucht wordt wel in de kop van het gewas gemeten terwijl de vruchttemperatuur zeker 2 meter lager wordt gemeten waarbij de vruchten ook nog in de schaduw hangen



Figuur 3.23. Cyclisch gemiddelde van 5 augustus tot 20 september van het afgegeven buisvermogen van de groeibuis (A) en de Kaslucht en vruchttemperatuur (oppervlakte) en het setpoint verwarmen van de Venlow Energy kas V en de referentie afdeling R (B).

### 3.3.2 Buistemperaturen

De ombouw naar de air & energy kas voor de teelt 2012 was ook ingegeven als toepassing van een laag temperatuur verwarmingssysteem. Tijdens de teelt 2011 waren er 3 verwarmingsnetten aanwezig; een buisrail systeem van 14 x 51 mm buizen per 12.8 meter; een groeibuis systeem van 32 mm met 7 buizen per 12.8 meter en een naverwarmings blok achter de regain. Bij de ombouw is het groeibuis net verplaatst naar het verwarmingsnet dat in de slang is geplaatst (paragraaf 2.3.1), de 'slave' en het naverwarmingsblok is omgebouwd naar het 'master' verwarmingsnet, zie ook Figuur 2.8. De buisrail is niet aangepast. Het master-slave verwarmingsnet is het gehele jaar als primair net gestuurd, wel zijn de master en slave temperatuur aan elkaar gekoppeld met 5 °C temperatuurverschil in het voordeel van de slave. Mocht de maximale capaciteit zijn bereikt, dan wordt het buisrailnet pas ingeschakeld. De maximale capaciteit is beperkt door een maximale watertemperatuur van 50 °C omdat deze netten gedeeltelijk in PVC en propyleen zijn uitgevoerd. Voor het vergelijk is er van een praktijkbedrijf met zelfde plantdatum en een normaal teeltsysteem een overzicht van de jaarbelastingduurkromme van de gerealiseerde buistemperaturen gemaakt, Figuur 3.24. Dit is vergeleken met de berekende buistemperaturen van buisrail, master en slave van de Venlow Energy kas. De periode start pas op 13 januari omdat vanaf die datum de praktijkgegevens beschikbaar kwamen. Bij de meeste verwarmingssystemen wordt de berekende buistemperatuur 0 als de warmtevraag weg valt en de circulatie pomp wordt uitgeschakeld. Voor de master en slave is dit niet het geval zodat hierbij 20 °C als grens gekozen is.

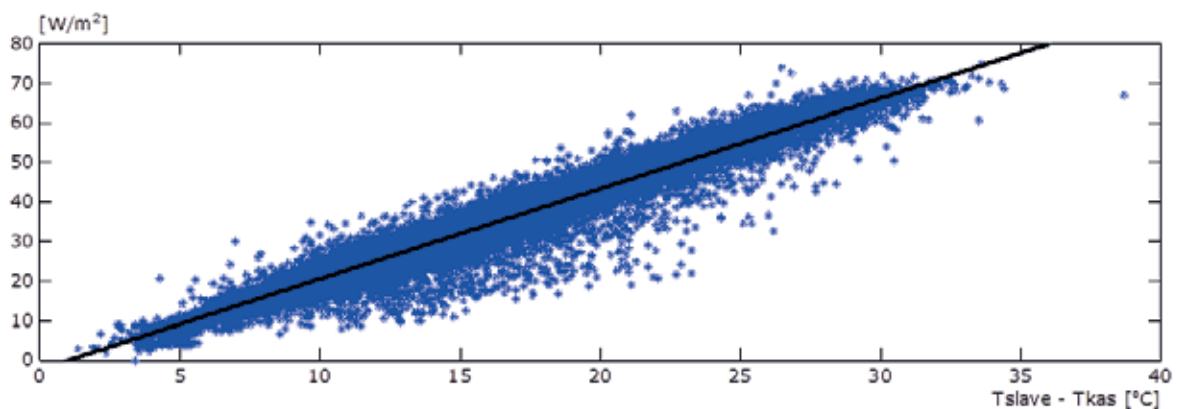


Figuur 3.24. Jaarbelasting duurkromme van de berekende buistemperaturen van buisrail en groeibuis van een praktijk bedrijf (P) en de berekende buisrail, master en slave temperatuur van de Venlow Energy kas (V) over de periode 13 januari tot 26 november 2012.

De buisrail is in de Venlow Energy kas slechts 71 uur gebruikt terwijl dit op het praktijkbedrijf oploopt tot bijna 4200 uur met maxima van ca. 55 °C. De groeibuis is in de praktijk 1900 uur ingezet met maxima van 50 °C. De figuur laat goed zien dat de slave zo'n 5 graden boven de master temperatuur wordt gehouden. Het totaal aantal verwarmingsuren met de master en slave is niet exact aan te geven omdat er met dit systeem ook droge buitenlucht wordt verdeeld. De ventilator die de lucht langs de master en slave brengt heeft dit jaar ca. 4000 uur gedraaid. Daar zitten dus uren bij met slave temperaturen van minder dan 20 °C. De figuur maakt duidelijk dat de Venlow Energy kas altijd wel 5 tot 10 °C lagere buistemperaturen verwarmd kan worden dan de praktijk. De buistemperaturen moeten uiteraard wel altijd aan het geïnstalleerde Verwarmend Oppervlak (VO) worden gerelateerd.

Maakt dit het verwarmingssysteem nu tot een LT systeem. Anders gezegd is de warmteafgifte van de master en slave per graad temperatuurverschil tussen kaslucht en slave temperatuur nu groter dan van een buisrailsysteem?

Daarvoor is in Figuur 3.25. de warmteafgifte van master en slave per waarneming uitgezet tegen het temperatuurverschil kaslucht - slave temperatuur. Als op deze puntenwolk lineaire regressie wordt toegepast, blijkt de warmteafgifte van het systeem ca. 2.3 W/m<sup>2</sup>/°C te zijn, waar een standaard buisrail een warmteafgifte van ca. 1.8 W/m<sup>2</sup>/°C kent. Het air & energie systeem geeft in deze opzet ca. 25% meer warmte af bij gelijke kas en buistemperatuur. Warmte technisch gezien had een verhoogde warmteafgifte had ook verkregen kunnen worden door meer VO (Verwarmend Oppervlak) van buisrail of groeibuis te installeren.

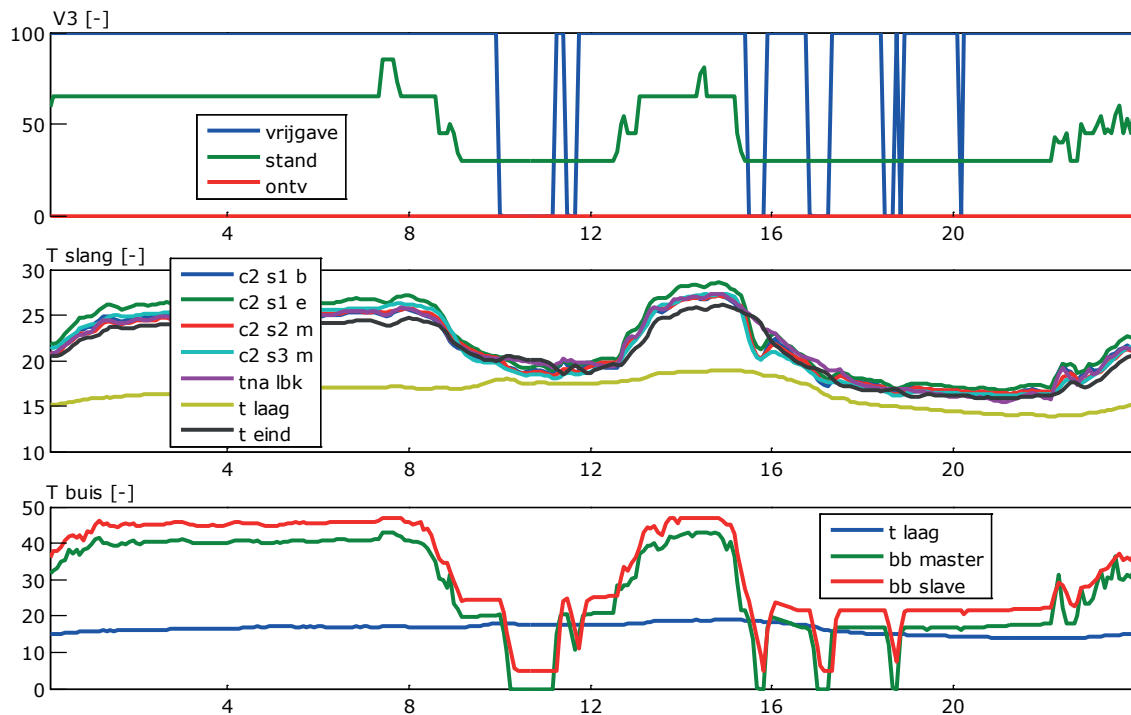


Figuur 3.25. Warmteafgifte van het air & energy systeem op momenten dat de buisrail niet gestookt wordt ten opzichte van het temperatuurverschil kaslucht - slave.

### 3.3.3 Slangtemperaturen

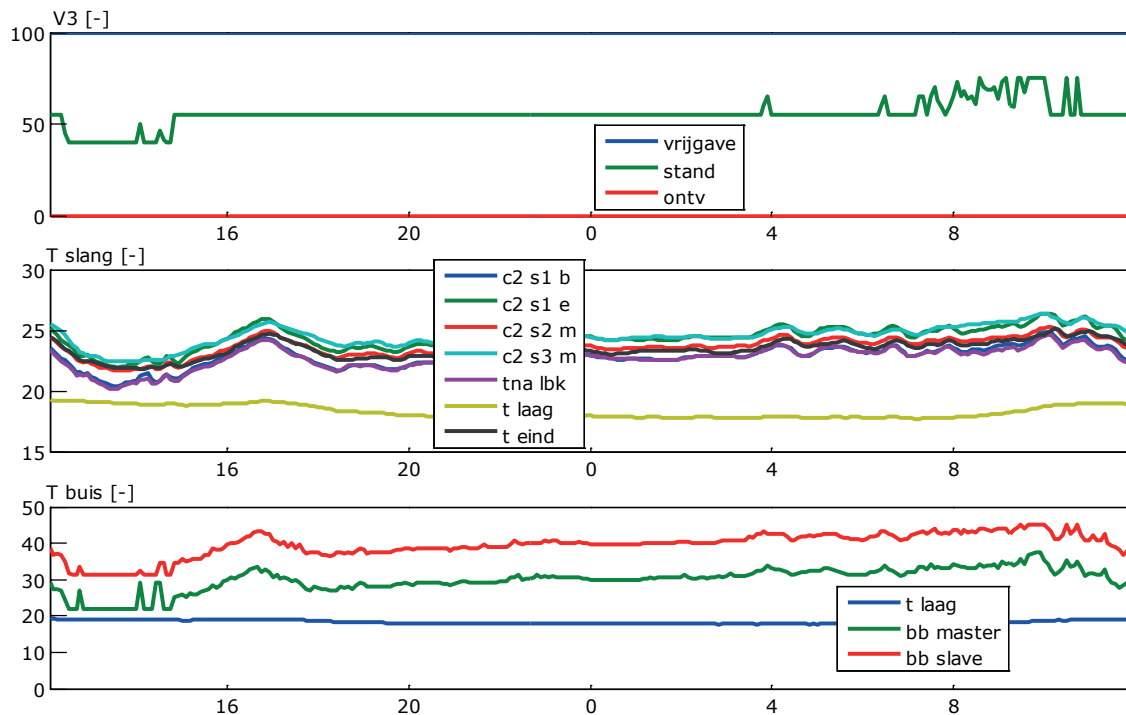
Aanleiding om het slave systeem in de distributieslang te plaatsen waren de negatieve ervaringen met slangverwarming in gesloten kassen. Omdat de slang zelf ook als een verwarmingsbuis fungeert en de slangen niet als aanvoer/retour zijn aangelegd maar als een stort systeem van gevel naar middenpad, koelt de lucht in de slang af waardoor de warmteafgifte afneemt en er naar het middenpad toe steeds minder warmte wordt afgegeven met horizontale temperatuurverschillen tot gevolg. De slave verwarming moet deze afkoeling compenseren. Om dit te kunnen regelen is een afzonderlijk regelbaar verwarmingsnet van master en slave noodzakelijk. Aan het begin van de teelt is arbitrair gesteld dat de slave temperatuur 5 °C boven de master temperatuur moet liggen. Er zijn metingen verricht met extreme temperatuurverschillen tussen master en slave tot en met het uitschakelen van één van beide systemen.

Voor de standaard situatie met een slave temperatuur van 5 °C boven de master is in Figuur 3.26. een temperatuurverloop in de slang (middelste figuur), de buistemperaturen (onderste) en het functioneren van de ventilator en het eventueel ontvochtigen (bovenste) gegeven.



Figuur 3.26. Temperatuurverloop in de verwarmingsslang in relatie met de buistemperaturen van master en slave en de ventilatorsnelheid op 4 november.

In één loop van een slang, bestaande uit 3 slang secties, zie Figuur 2.8, is in de eerste strang direct na de LBK (c2 s1 b) en aan het einde (c2 s1 e) en in het midden tussen gevel en betonpad van de tweede (c2 s2 m) en derde strang, (c2 s3 m) een thermokoppel in de slang geplaatst om de luchttemperatuur in de slang te meten. Daarnaast is er een vaste sensor direct na de LBK (tna lbk) en een vaste sensor aan het einde van de 3<sup>e</sup> loop (t eind) gemonteerd. De codes corresponderen met de legenda van Figuur 3.26. (middelste figuur). Hier is ook de temperatuur van de onderste meetbox (t laag) gegeven. Zoals dit subfiguur laat zien reageren de afzonderlijke sensoren direct op een verandering van de buistemperatuur. De berekende buistemperaturen van master (bb master) en slave (bb slave) zijn in het onderste subfiguur gepresenteerd. Ten slotte wordt in het bovenste deel van het figuur aangegeven of de ventilator (V3) die de kaslucht door de LBK van de master en de slang blaast, draait (vrijgave is 100) en met welke ventilatorstand (stand). In dit geval is er geen buitenlucht aangevoerd omdat er niet ontvochtigd is (ontv = 0). Figuur 3.26. laat zien dat het temperatuurverloop in de slang klein is tussen de verschillende meetposities in één slang. Sensor c2-s1-e laat een kleine verhoging zien, maar dat is op de volgende sensor niet terug te vinden. Deze meting wordt dan ook als afwijkend beschouwd, wat goed een meetfout door de positie in de slang kan zijn. De andere thermokoppels liggen allemaal binnen een halve graad bij elkaar, wat gelijk is aan de meetfout. De keuze voor 5 °C verschil heeft dan ook goed uitgekapt. Dat dit anders kan verlopen toont Figuur 3.27. waar de slave in plaats van 5, 10 °C hoger is ingesteld.



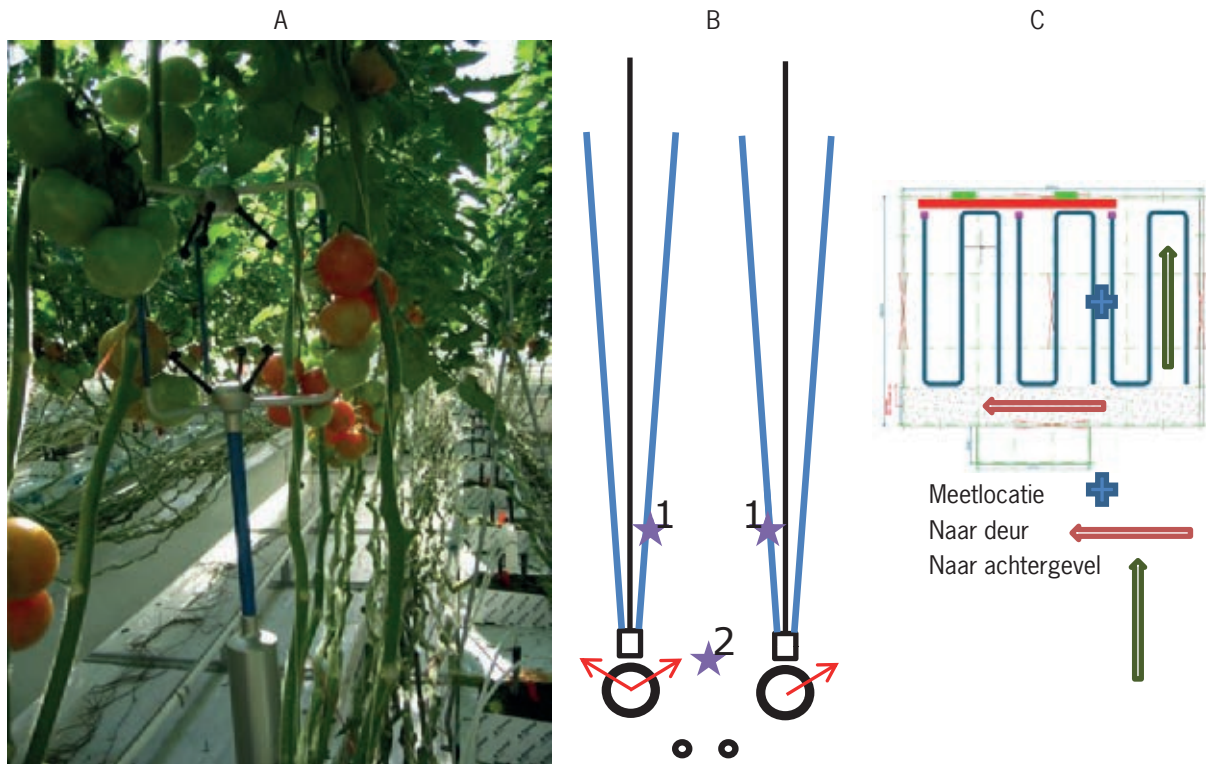
Figuur 3.27. Temperatuurverloop in de verwarmingsslang in relatie met de buistemperaturen van master en slave en de ventilatorsnelheid op 16 november 12:00 tot 17 november 12:00.

Nu is gaandeweg door de 3 slangsecties een temperatuurverhoging waar te nemen. De temperatuur loopt langzaam ca. 2 °C op dus de slave geeft teveel vermogen af.

In Bijlage 1 zijn de resultaten van andere instellingscombinaties opgenomen.

### 3.3.4 Luchtsnelheid

In het air & energy concept wordt voor verwarming en ontvochtiging veelvuldig gebruik gemaakt van ventilatoren en slurven. Vraag is vervolgens of er daadwerkelijk luchtbeweging met zo'n systeem in en rond het gewas gecreëerd wordt. Daarvoor zijn met "windmasters" metingen aan de luchtsnelheid verricht. In Figuur 3.28. A en B is een voorstelling van de meetlocatie gegeven. Er zijn twee meetseries uitgevoerd met sensoren op positie 1 (Figuur 3.28. B) en op positie 2. Daarnaast is beide meetrondes ook boven het gewas gemeten. In het pad met de meetlocatie zijn onder beide teeltgoten slurven gemonteerd echter de linker slurf heeft aan beide kanten gaten voor de luchtdoorvoer waar de rechter alleen aan de rechter kant gaten in de slang heeft, zie rode pijlen in figuur. De afstand van uitstroomopening in de slang tot het meetgebied is in meetlocatie 1 ca. 1 meter en bij meetlocatie 2 ca. 0.4 meter. Deze sensoren meten een afzonderlijke X,Y en Z component. Deze richtingen (positief) zijn in Figuur 3.28C getoond. Worden de waarden negatief, dan is de stromingsrichting omgekeerd.

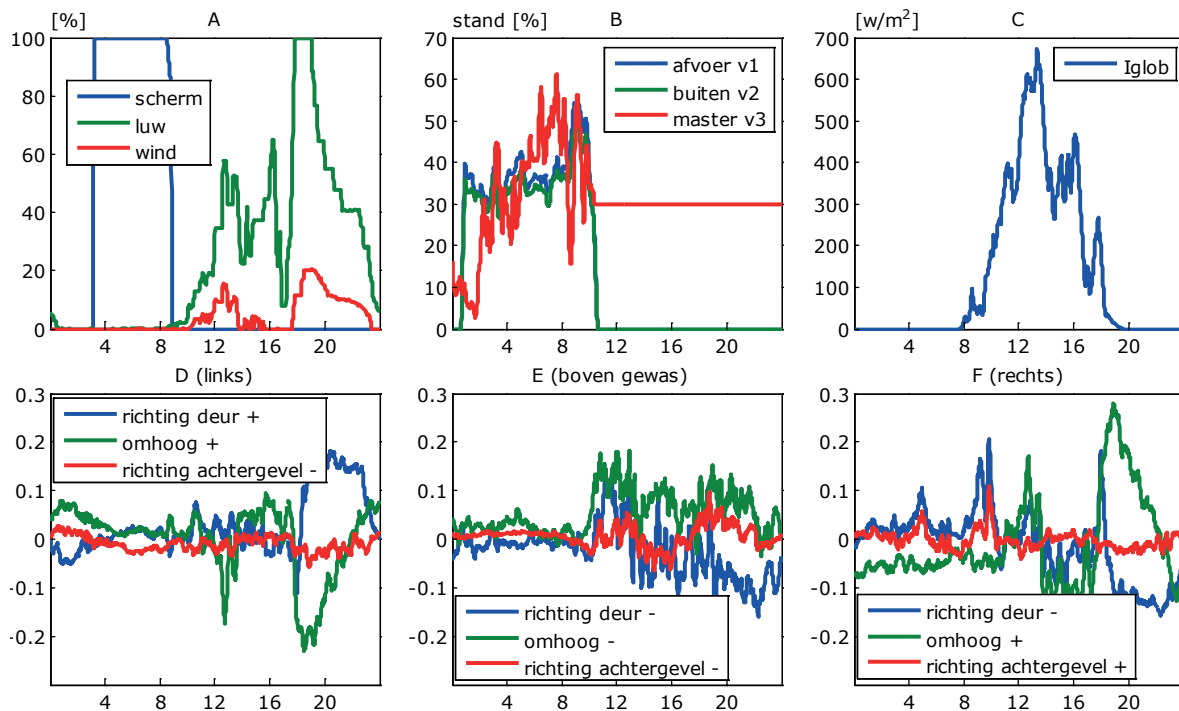


Figuur 3.28. Beeld van meetlocatie van de luchtsnelheidsmeter tussen de vruchten (A), de meetlocaties van de luchtsnelheidsmeters ten opzichte van de uitstroomopening van de slang (B) en meetlocatie in de kas met positieve stroomrichting (C).

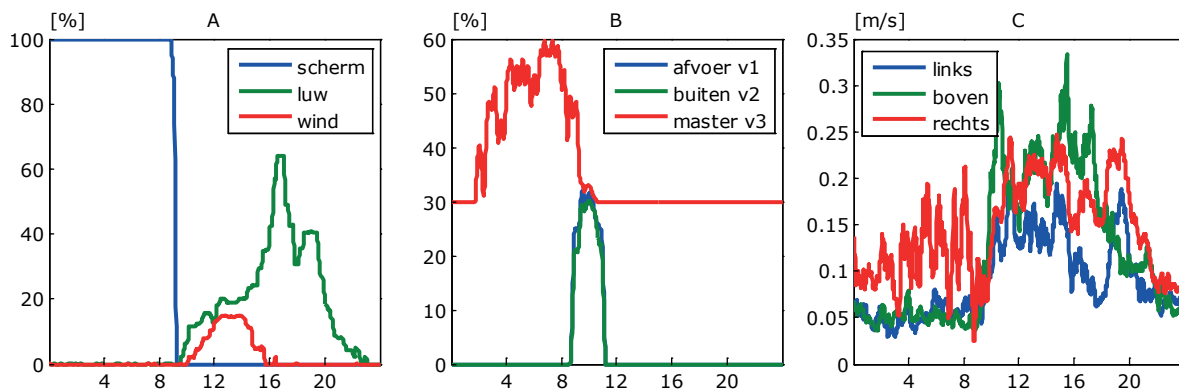
Deze sensoren verzamelen een grote hoeveelheid gegevens die vervolgens lastig te interpreteren zijn. In Figuur 3.29. is van de 3 sensoren (meting positie 1 volgens Figuur 3.28. B) de X,Y en Z component, de raam en schermstanden, globale straling en het gebruik van de ventilatoren ten behoeve van de verwarming en ontvochtiging van 25 september getoond. Het scherm is tussen 3 en 9 gesloten geweest (3.29A) en de verwarming, in combinatie met de ontvochtiging is van 3 tot ca. 11 uur gebruikt (3.29B). Hoewel er voor 3 uur een berekende waarde is voor master V3, bereikt deze pas rond 3 uur het minimum van 25% waarop ze pas echt aan gaan. In de nacht is het toerental langzaam opgehoogd. In de figuren 3.29D t/m F is hier echter geen effect van terug te vinden op de afzonderlijke luchtsnelheden. De buitenomstandigheden zijn in de nacht vrij constant, de wind waait met een snelheid van 5 á 6 m/s. Of en zoja hoe de buitenomstandigheden de situatie in de kas beïnvloeden is onbekend.

De sensor boven het gewas (3.29E) geeft pas vanaf ca. 10 uur een toename in de activiteit aan, ook het moment waarop er meer en voor het eerst ook met tegenlucht geventileerd wordt. De andere twee snelheidsmeters die tussen de afrijpende vruchten staan, laten pas in de avond rond 6 uur een sterke toename van de luchtsnelheid zien (3.29 D en F). Dat zijn echter ook de momenten dat er fors gelucht gaat worden, inclusief tegenlucht, om de voornachttemperatuur te gaan bereiken. Hieruit kan dan ook geconcludeerd worden dat er geen meetbare effecten op deze locatie zijn van de luchtsnelheid ten gevolge van het gebruik van de verwarming en of het ontvochtigingssysteem.

Een tweede dag, 11 oktober waar nog meetopstelling 1 (Figuur 3.28B) van toepassing is, laat op de linker sensor een zeer klein effect van de V3 master ventilatoren zien. Daarvoor is van de afzonderlijke 3 luchtsnelheden van iedere sensor de gecombineerde luchtsnelheid berekend, Figuur 3.30C. Daarnaast zijn in deze figuur ook nog de raam en schermstanden 3.30A en de snelheden van de ventilatoren van de ontvochtiging en verwarming 3.30B, getoond. In de nacht, buiten is het windstil, is de luchtsnelheid rond de linker en boven luchtsnelheidsmeter redelijk constant op een laag niveau van rond de 5 cm/s. De linker sensor (rode lijn in Figuur 3.30C) laat gaande de nacht een langzaam stijgende trend, wel met grote variatie, zien. Op het moment dat het scherm opengaat, worden de luchtramen geopend. Dit geeft op alle luchtsnelheidsmeters een grote toename van de luchtsnelheid te zien. Dit wordt pas weer duidelijk lager als in de avond rond 23:00 uur de ramen weer dicht zijn. Ook dit figuur geeft aan dat luchtbeveging in het gewas t.g.v. het gebruik van ventilatoren en verdeelsystemen gering is.



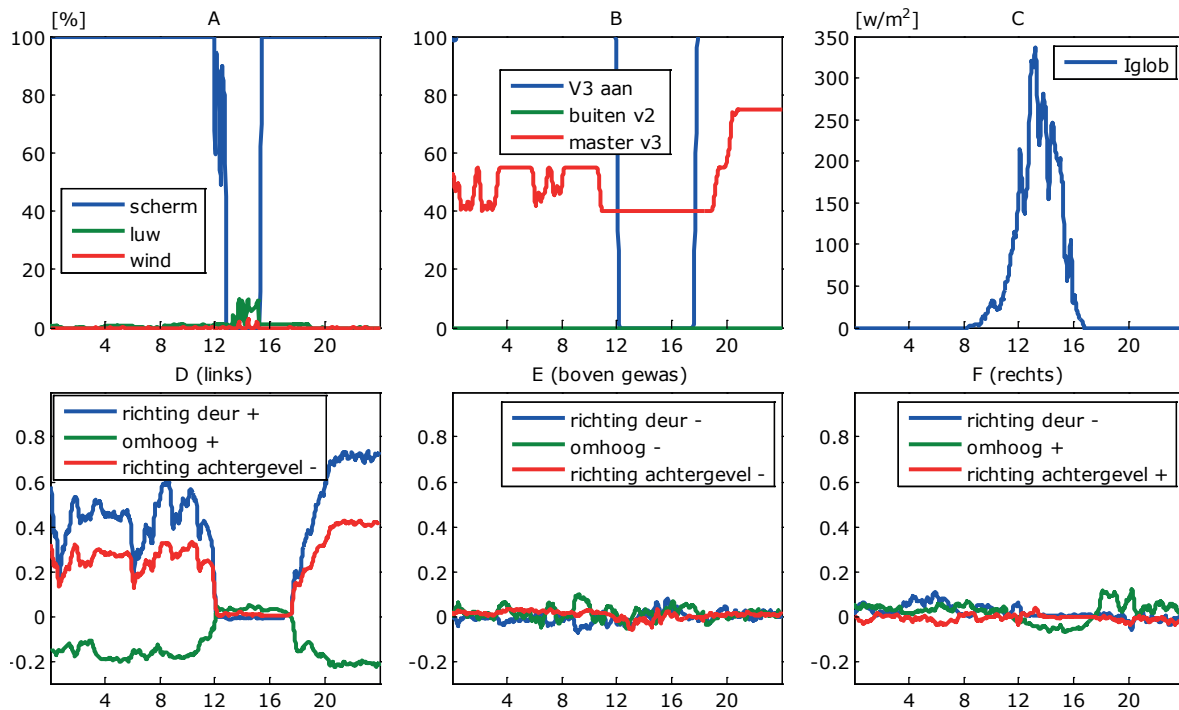
Figuur 3.29. Scherm en raamstanden (A), gebruik ventilatoren (B) globale straling (C), linker luchtsnelheidsmeter (D), luchtsnelheidsmeter boven het gewas (E) en de rechter luchtsnelheidsmeters (F) op 25 september 2012. De luchtsnelheidsmetingen zijn als een voortschrijdend gemiddelde over 10 minuten weergegeven.



Figuur 3.30. Scherm en raamstanden (A), gebruik ventilatoren (B) en de resulterende luchtsnelheid per sensor (C) op 11 oktober 2012. De luchtsnelheid is als een voortschrijdend gemiddelde over 10 minuten weergegeven.

Pas als de luchtsnelheidsmeters dicht bij de uitblaasopeningen worden geplaatst (meetlocatie 2 Figuur 3.28B) is er een zeer duidelijk verband te zien tussen ventilator snelheid en luchtsnelheid (Figuur 3.31.) waarbij het grote verschil tussen de linker sensor (die ca. 30 cm van de uitstroomopening staat) en de rechter die zo'n meter van de uitstroom opening staat, wel op gelijke hoogte van de gaten in de transportslang, opvalt. De rechter sensor staat dus dicht bij de rechter slang (Figuur 3.28B) maar aan die kant van deze slang is deze niet geperforeerd. De luchtsnelheid van de linker sensor reageert direct op de ventilatorsnelheid (Figuur 3.31B en D) tussen 12 en 17:00 uur is de ventilator uitgeschakeld waarop direct weer lage luchtsnelheden gemeten worden. Door voor een gelijke schaalverdeling voor de rechter en de boven sensor te kiezen als de linker sensor, wordt gelijk het niveau verschil duidelijk. Ondanks de geringe afstand tussen de linker en de rechter sensor, is het verschil in gemeten luchtsnelheden enorm en is er ook geen relatie tussen ventilatorstand en windsnelheid te zien. In de korte tijd dat het scherm is open geweest en er zelfs geventileerd wordt (Figuur 3.31A), is er ook geen effect op de luchtsnelheid te zien.





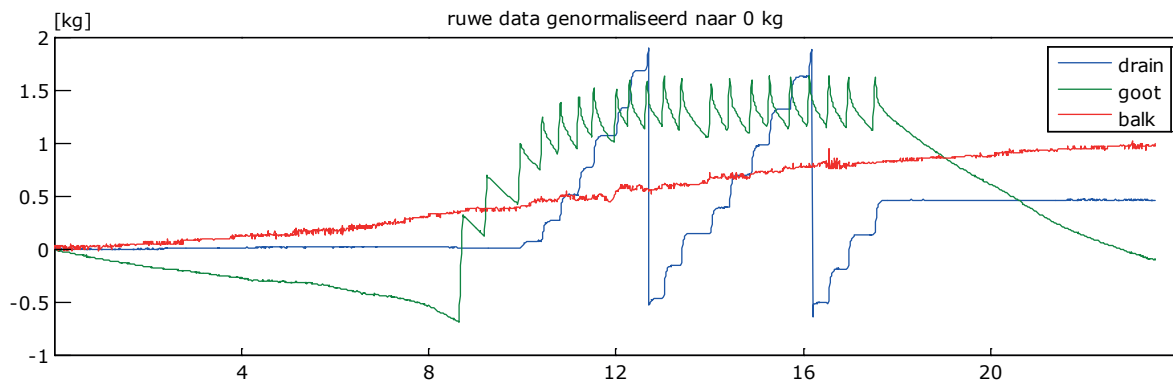
Figuur 3.31. Scherm en raamstanden (A), gebruik ventilatoren (B) en de resulterende luchtsnelheid per sensor (C) op 18 november 2012. De luchtsnelheid is als een voortschrijdend gemiddelde over 10 minuten weergegeven.

### 3.3.5 Verdamping en wateropname

In de Venlow Energy kas is een weeggoot geplaatst. Deze bestaat uit een 1 meter lange goot op sensoren, een drainbak en een bovenbalk waar de gewashaken aan hangen. De hele goot beslaat een oppervlakte van 2.35 m<sup>2</sup>.

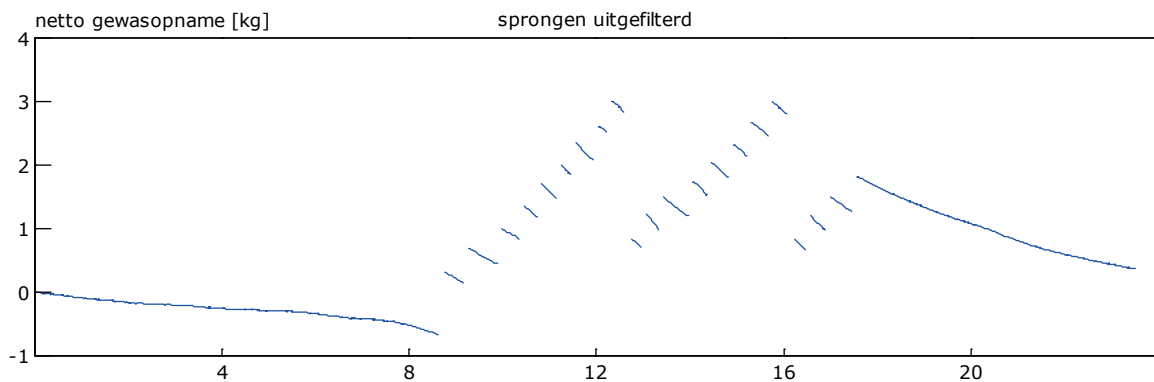
In Figuur 3.32. is de gewichtsverandering van alle 3 de afzonderlijke weegsystemen weergegeven voor een willekeurige dag, in dit geval 19 mei 2012. De gewichten worden iedere 30 seconden gelogd. Alle data zijn rond middernacht genormaliseerd naar 0. In de nacht neemt het gootgewicht (groene lijn) geleidelijk in gewicht af en rond half 9 is een forse sprong zichtbaar, de eerste watergift van deze dag. De hellingshoek van de gewichtsverandering van de goot is een graad voor de verdampingssnelheid. Het gewicht van de drain bak verandert nog niet. Dat gebeurt pas na de 3<sup>e</sup> beurt waarbij de eerste drain zichtbaar wordt. Ook is te zien dat de eerste beurt in omvang duidelijk groter is dan de 2<sup>e</sup> en volgende beurten. Rond 13:00 is de drain bak vol en wordt deze leeggepompt, wat zich rond 4 uur weer herhaalt. In totaal zijn er deze dag 21 beurten geweest. Na de laatste beurt teert de mat nog ca. 1.3 kg in voor het einde van de dag.





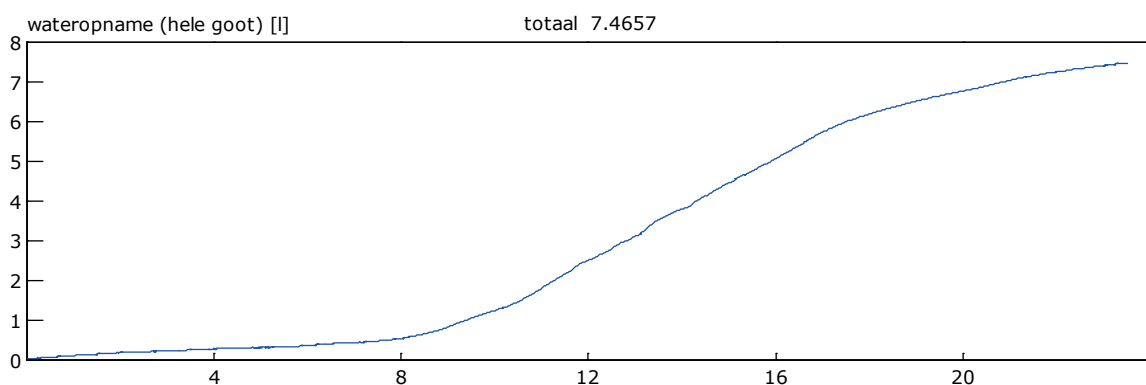
Figuur 3.32. Gewichtsverandering van de balansen van de weeggoot op 19 mei 2012.

Op momenten dat de goot uitdraind, is de gewichtsafname veel groter dan de verdamping op dat moment. De hellingshoek (van de groene lijn) is nu geen goede graadmeter voor de verdamping. Wanneer er gedraineerd wordt is gelijktijdig een duidelijke stijging van het drain gewicht (blauwe lijn) te zien. Door nu gift en drain bij elkaar op te tellen ontstaat wel een netto wateropname door het gewas. Er blijven echter nog steeds sprongen in de lijn bestaan rond de watergift. Een algoritme heeft deze sprongen eruit gefilterd. Na deze filtering ontstaat Figuur 3.33. Zoals de figuur laat zien zijn er veel gaten en deze gaten beslaan al snel enkele tot wel 5 minuten per gat. Deze gaten moeten dus worden opgevuld. Daarvoor wordt een regressielijn door het kwartier voor het gat gefit en deze hellingshoek wordt over het gat geëxtrapoleerd. De hellingshoek is immers een maat voor de wateropname.



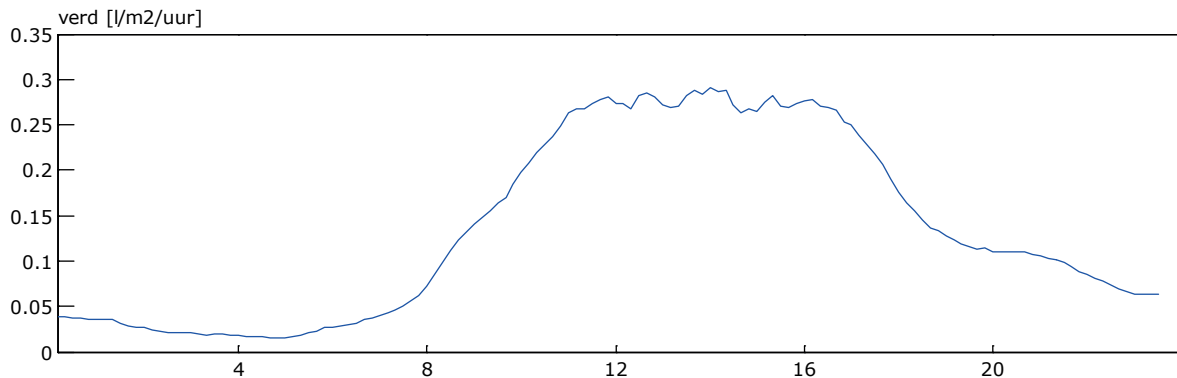
Figuur 3.33. Netto opname van water door het gewas op 19 mei 2012.

Na deze 'reparatie' van de gaten. En het aan elkaar plakken van alle stukjes is dus in feite een cumulatieve wateropname door het gewas bepaald, zoals in Figuur 3.34. getoond.



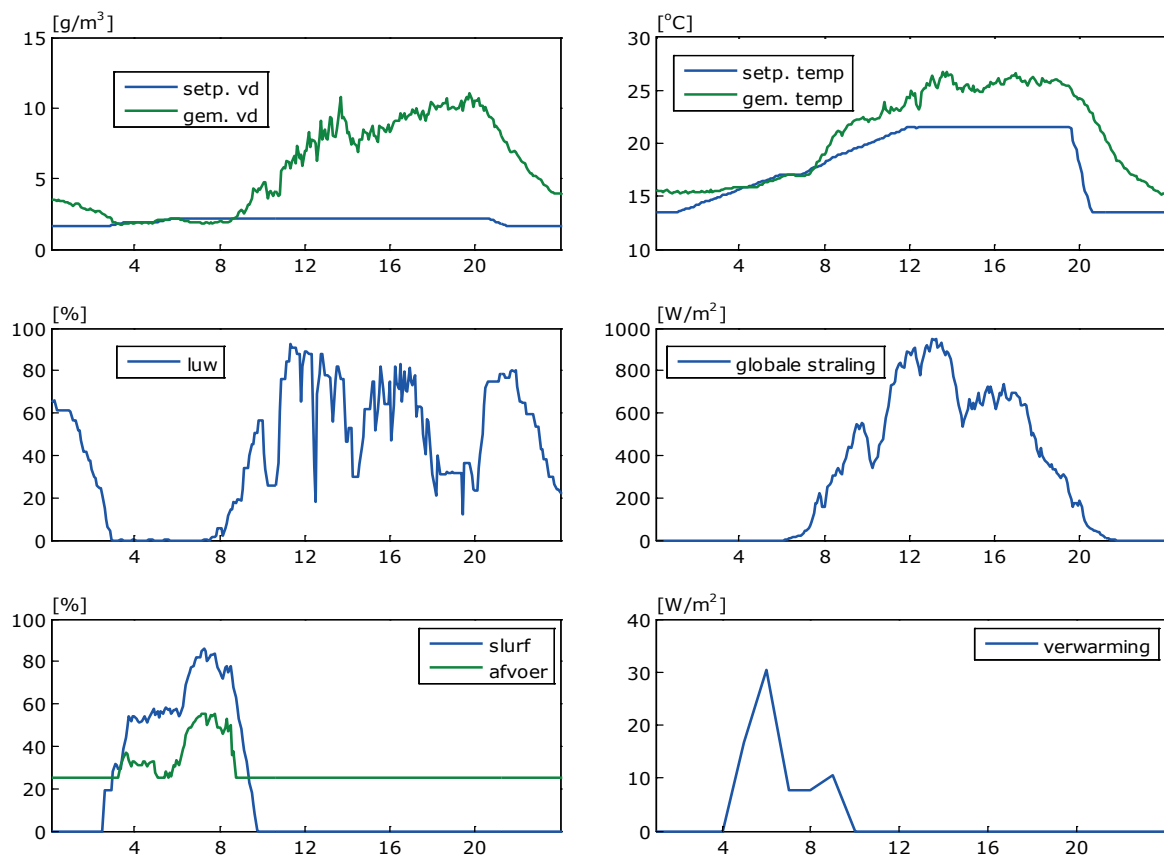
Figuur 3.34. Cumulatieve netto opname van water door het gewas op 19 mei 2012 voor de gehele goot.

Het verschil tussen 2 waarnemingen is dus de verdamping (waterfixatie door het gewas even verwaarlozend). Omdat dit bij een interval van 30 seconden een zeer sterke variatie laat zien is de verdamping op basis van 10 minuten bepaald en dan ontstaat voor deze dag een verdampingsverloop als in Figuur 3.35. getoond.



Figuur 3.35. Verdamping door het gewas op 19 mei 2012 per  $m^2$  kas.

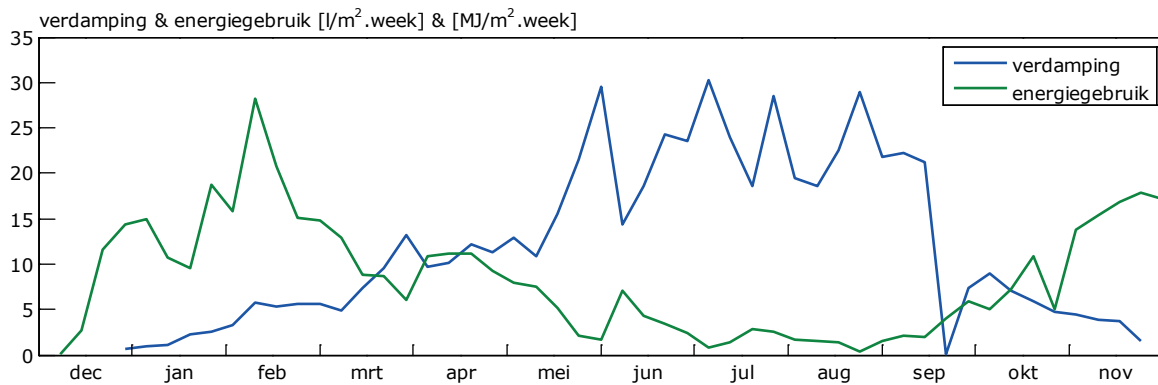
De bovenstaande figuur laat zien dat in de nacht de verdamping vrij constant afneemt tot ca. 5 uur met een minimum van rond de 15  $gr/m^2/uur$ . Deze verdamping in de nacht is gedreven door het vochtdeficiet en eventuele input van energie. Om deze interactie te verduidelijken is in Figuur 3.36. een aantal kasklimaatparameters als vochtdeficiet, kasluchttemperatuur, raamstand, het toegevoerde verwarmingsvermogen, de snelheid van de ventilatoren en de globale straling als belangrijkste energiebron getoond.



Figuur 3.36. Kasklimaatparameters als vochtdeficiet, kasluchttemperatuur, raamstand, het toegevoerde verwarmingsvermogen, snelheid van de ventilatoren en de globale straling op 19 mei 2012.

Tussen 4 en 9 wordt er wat energie door de verwarming in de kas gebracht. In deze periode van verwarming is de totale gewasverdamping 237 gr/m<sup>2</sup> geweest. Echter na 7 uur zal de zon alweer een flinke bijdrage aan de verdamping hebben geleverd.

In Figuur 3.37. is de weeksom aan verdamping en het energiegebruik gegeven. In september is er door een storing 10 dagen data van de weeggoet verloren gegaan. Hoewel de lijn in de figuur in september naar 0 gaat, zal er in werkelijkheid dus wel zijn verdampt. Op jaarbasis is er dan ook meer dan 600 l/m<sup>2</sup> verdampt. Bij een totaal energiegebruik voor warmte (inclusief verdamping) van 14.4 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.



Figuur 3.37. Verdamping en energiegebruik voor verwarming (+verdamping) per m<sup>2</sup> kas per week voor het teeltjaar 2012.

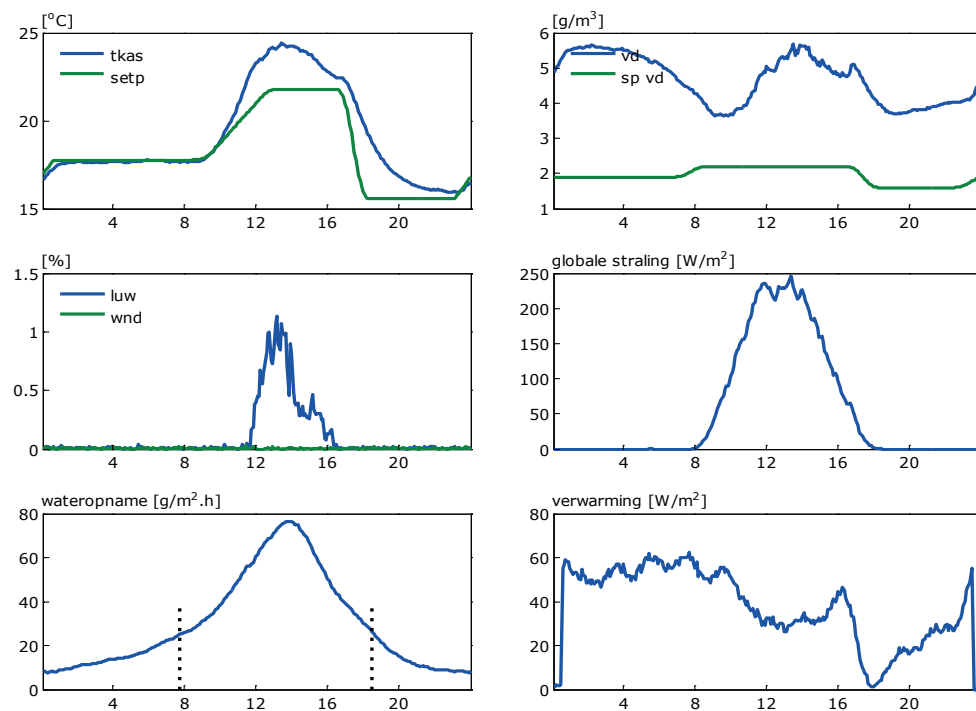
De figuur geeft aan dat er mogelijk nog een energiebesparing bereikt kan worden door de verdamping te beperken. Immers indien energie wordt toegevoerd en dat wordt door de plant vertaald in verdamping, dan gaat het verlies aan latente warmte ten koste van de opwarming van de kas.

### Wateropname gedurende de dag tijdens het stookseizoen

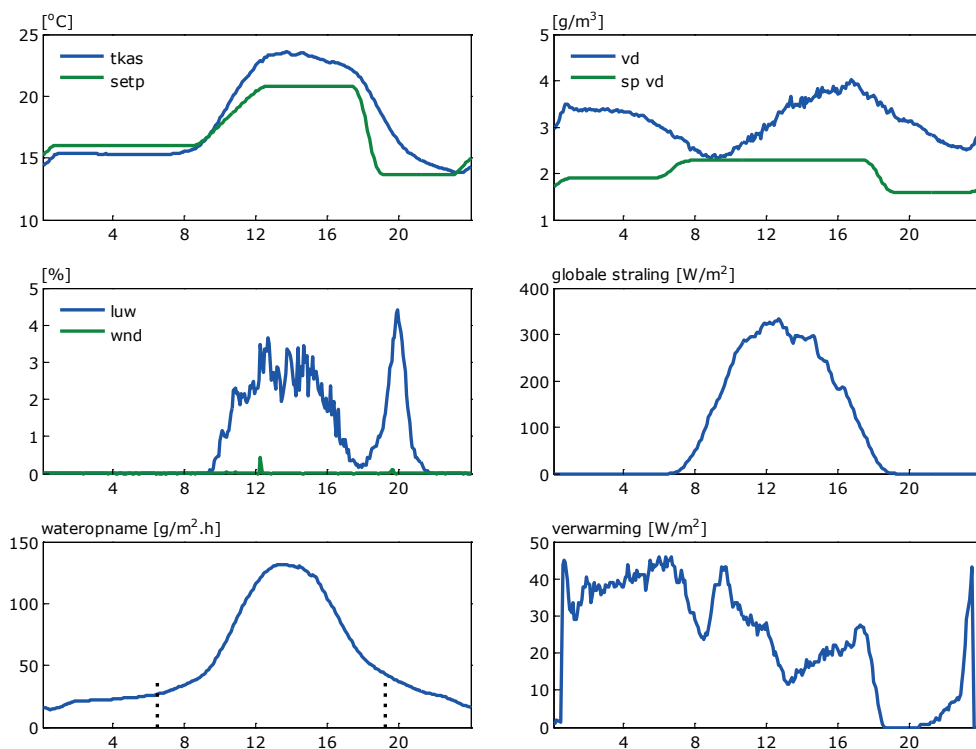
De opname van water in de nacht ligt op veel lagere niveaus vergeleken met de dag situatie. Vanuit energie inzet gezien heeft deze wateropname vele malen meer invloed op het energiegebruik dan de daguren waar deze energie door de zon vaak “gratis” wordt aangeleverd. Figuur 3.36. laat zien dat de periode dat er daadwerkelijk externe energie ingezet wordt beperkt blijft tot de 2 á 3 uur rond zonsopkomst. Dit is uiteraard wel sterk gerelateerd aan de zomer periode die hier getoond is.

Om de wateropname gedurende het “stookseizoen” wat beter in beeld te krijgen, is er vanaf 1 februari tot eind april (de teeltstart tot 1 februari is even buiten beschouwing gelaten omdat het gewas nog erg klein was) in 4 wekelijkse perioden de wateropname en enkele kasparameters als een cyclisch gemiddelde weergegeven. In Figuur 3.38. de maand februari. Deze periode kenmerkt zich door de ontwikkeling van het gewas en daarmee de toename van de LAI in deze tijd. Dat heeft ongetwijfeld zijn invloed. In het subfiguur linksonder is met behulp van de stippellijn de overgang dag/nacht weergegeven. De subfiguur rechtsonder, waar het verwarmingsvermogen in is weergegeven impliceert rond middernacht een warmteafgifte van rond de nul. Dat is in werkelijkheid niet zo, echter de meterstand wordt dan gereset. Deze periode kenmerkt zich door het vrijwel continue verwarmen, alleen rond zon-onder valt de verwarming altijd wel even weg, ook omdat er dan een forse setpoint temperatuurverlaging wordt doorgevoerd. In de nacht loopt de wateropname in deze periode terug tot onder de 6 g/m<sup>2</sup>.h. In deze periode is het scherm ook vrijwel altijd gesloten geweest in de nacht. In de afkoelperiode blijft het scherm open (als het overdag open is geweest) echter zodra er warmtevraag ontstaat sluit het scherm.

In de periode 1 t/m 28 maart, Figuur 3.39. neemt de gewasverdamping over de hele linie toe. Enerzijds door de toegenomen hoeveelheid blad, anderzijds door de forse toename van de straling overdag. Gelijktijdig neemt de warmtevraag hierdoor wat af. De verdamping neemt in de avond en nacht af tot gemiddeld ca. 10 gram/m<sup>2</sup>.uur.

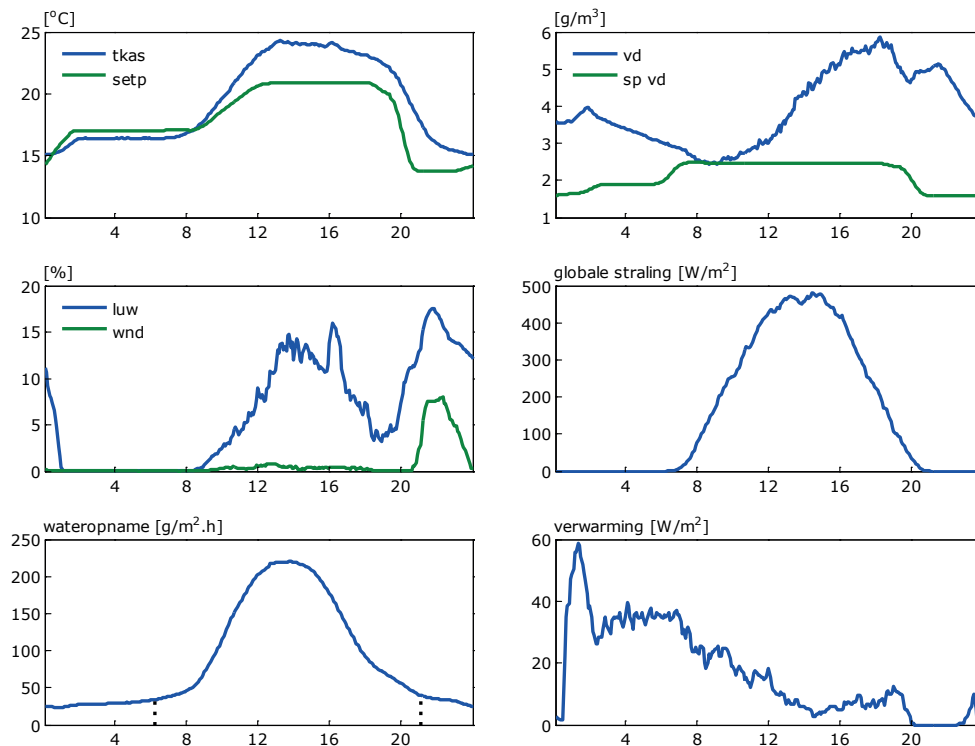


Figuur 3.38: Cyclisch gemiddelde wateropname van het gewas met enkele kasklimaatparameters als vochtdeficiet, kasluchttemperatuur, raamstand, het toegevoerde verwarmingsvermogen en de globale straling in de periode van 1 t/m 28 februari.



Figuur 3.39: Cyclisch gemiddelde wateropname van het gewas met enkele kasklimaatparameters als vochtdeficiet, kasluchttemperatuur, raamstand, het toegevoerde verwarmingsvermogen en de globale straling in de periode van 1 t/m 28 maart.

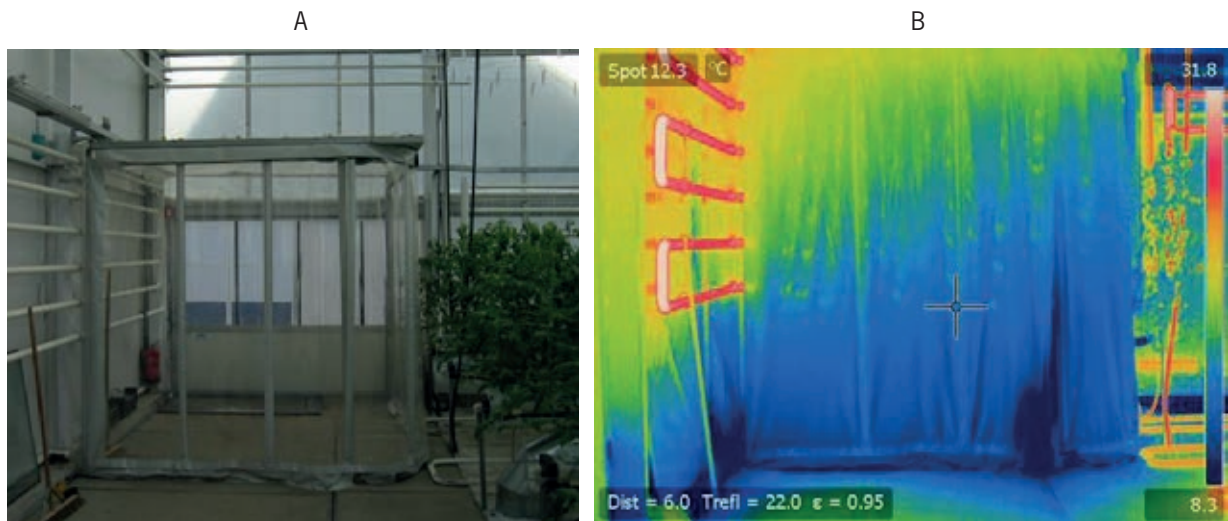
In de maand april als het echte stookseizoen zijn einde nadert en het gewas volgroeid en volledig in productie is, neemt de nachtverdamping toe tot gemiddeld ca. 25 á 30 gram/m<sup>2</sup>.uur, Figuur 3.40.



Figuur 3.40: Cyclisch gemiddelde wateropname van het gewas met enkele kasklimaatparameters als vochtdeficiet, kasluchttemperatuur, raamstand, het toegevoerde verwarmingsvermogen en de globale straling in de periode van 29 maart t/m 25 april.

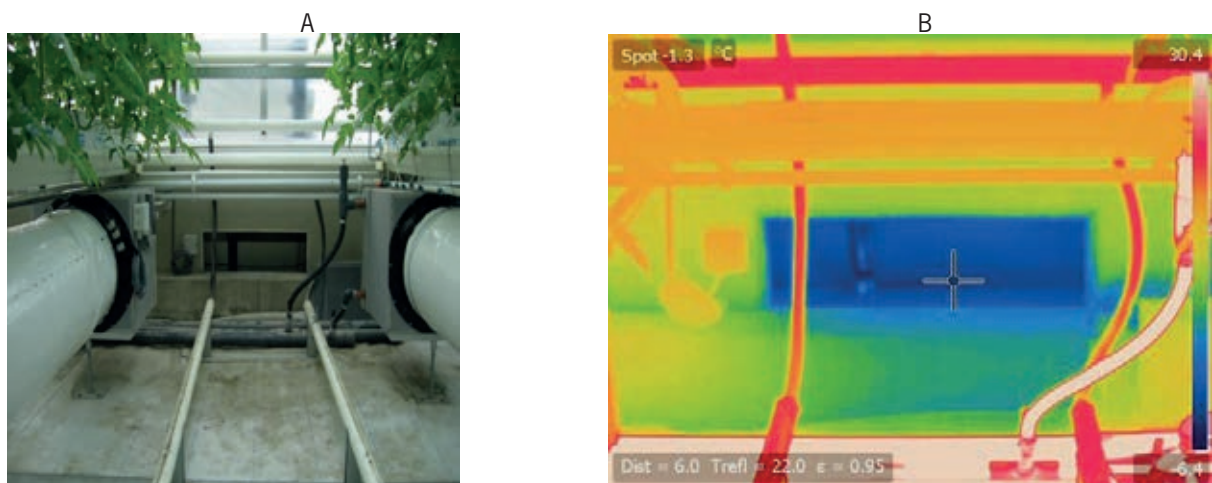
### 3.3.6 Koude lekken

De Venlow Energy kas is een kleine los in het veld staande kas. Gevels en toegangsdeuren hebben grote invloed op het klimaat en energiegebruik. In de koude periode van begin februari 2012 zijn met een warmtebeeldcamera opnamen van de kas gemaakt om potentiële warmte lekken in beeld te brengen. In Figuur 3.41. is links de situatie en rechts het bijbehorende warmtebeeld te zien. De kleurenbalk aan de rechterkant van het warmtebeeldfiguur geeft de bijbehorende temperaturen weer. Op het moment van deze opnamen was het buiten circa -5 °C. De betonvloer maar met name de voet is met 8 á 9 °C beduidend kouder dan rest van het beeld. Daarnaast komt er door de voorportaal alsnog koude de kas in. De verwarmingsbuizen aan de gevel zijn met temperaturen van rond de 30 °C beduidend warmer dan de buisrail (ca. 20 °C). De meeste warmte wordt via de slurf en slurfverwarming in de kas ingebracht.



Figuur 3.41. Aanzicht voorportaal toegangsdeur Venlow Energy kas (A) en een warmtebeeldopname hiervan (B).

Voor het Air & energy systeem zoals dat in 2012 operationeel gemaakt is er een gevelunit geplaatst om de buitenlucht voor te verwarmen. De doorvoer tussen de gevelunit en de kas is in Figuur 3.42. getoond. In het gat zijn er dus materialen met een temperatuur van onder 0 °C. Hoewel hier geen lucht (althans niet bewust) langs wordt geblazen, de vochtsituatie is zodanig dat er geen ontvochtigingsvraag is, is een dergelijke opening toch een potentieel trek gat.



Figuur 3.42. Aanzicht doorvoer droge lucht van gevelunit naar de kas (A) en een warmtebeeldopname hiervan (B).

De buisrailtemperatuur is om en nabij de 20 °C maar het water wat naar de LBK gaat is boven de 30 °C (witte slang). Tot slot zijn er ook nog opnamen van de buitenkant van de kas gemaakt, Figuur 3.43. Over het algemeen valt op dat het dek beduidend kouder is dan de zijgevels. Rond het luchtraam is het nog maar net onder 0 °C. De rechte zijgevel laat de contouren van de naastgelegen zonwindkas als een spiegeling zien. Door de “beperkte” afstand tussen deze kassen zal deze zijgevel minder naar de hemel uitstralen waardoor deze reflectie ontstaat. Deze spiegeling is ook in Figuur 3.43. (A) te zien. Dat de ramen onder in de gevel onder de eerste gording warmer zijn dan de secties van gording 2 en 3 komt door het surplus aan buizen van de gevelverwarming in dit deel.



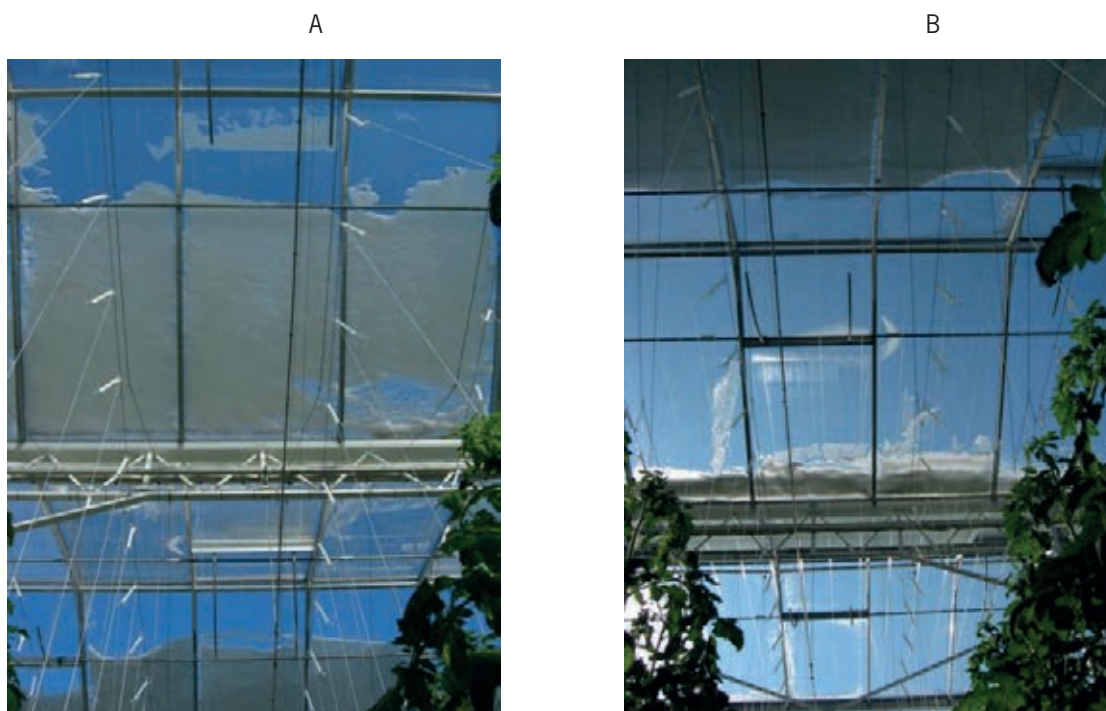


Figuur 3.43. Aanzicht buitengevl en kasdek met reflectie van zonwindkas in de zijgevel (A) en een warmtebeeldopname hiervan (B).

### 3.3.7 Sneeuw

De isolatie van dit kasdek is zodanig goed dat de standaard methode van een enkeledeks kas, om eventuele sneeuw met een temperatuurverhoging van het kasdek af te smelten, niet werkt. In zowel de winter 2010-2011 als 2011-2012 is er sprake geweest van behoorlijke sneeuwval. De sneeuw in de winter 2010-2011 viel voornamelijk tijdens de teeltwisseling en had dan ook geen gevolgen voor het gewas. Tijdens de teeltwisseling is getracht om (ondanks beter weten) toch de sneeuw van het dek proberen af te stoken. Dat is niet gelukt. Na enkele dagen trad natuurlijke dooi in waarbij de sneeuw vanzelf is weggesmolten nog voordat het gewas geplant werd.

Begin februari 2012 is er opnieuw sneeuw gevallen, maar nu was er wél een gewas aanwezig zodat er bij eventuele ingrepen wel rekening met het gewas gehouden moest worden. Er is er daarom voor gekozen geen afstookacties te ondernemen. Na 5 dagen zijn foto's gemaakt en deze zijn in Figuur 3.44. weergegeven. Er is een duidelijk verschil tussen de noord (A) en zuid-kant van de kap (B). Aan de zuidkant is de meeste sneeuw afgeschoven naar de goot maar nog niet gesmolten. Aan de noordkant is de sneeuw niet of slechts zeer beperkt afgeschoven.



Figuur 3.44. Sneeuw op het kasdek op de noordelijke kaphelft (A) en de zuidelijke kaphelft (B).

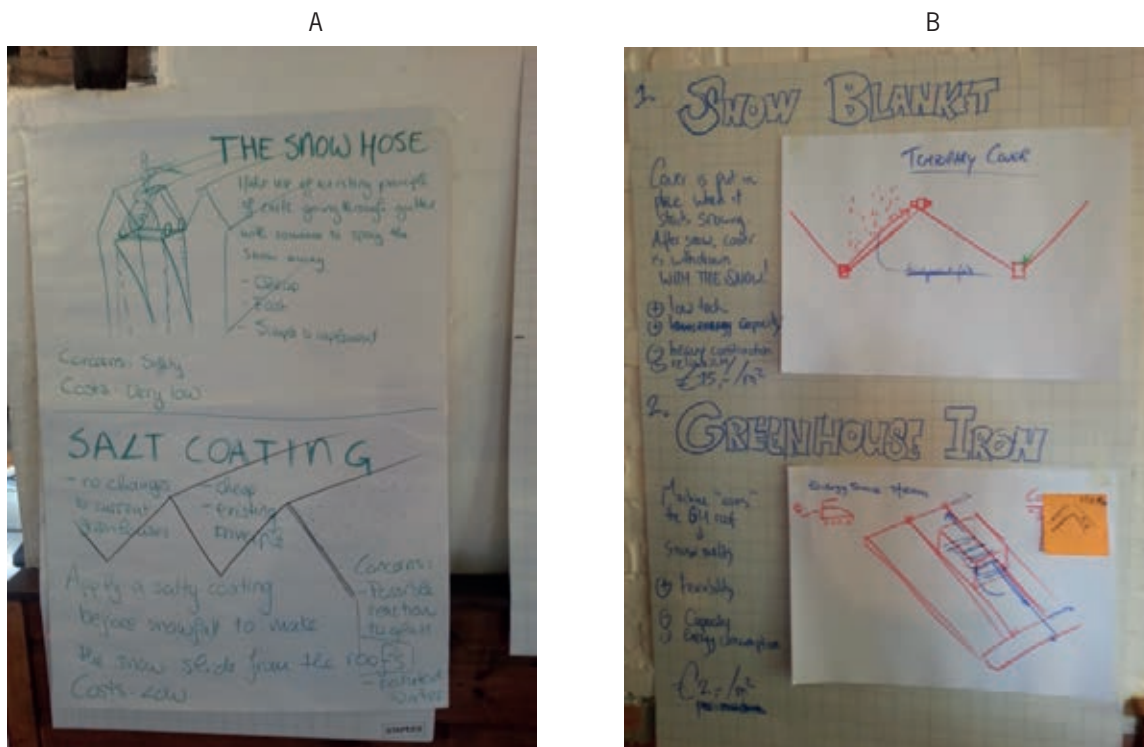


Het wel of niet smelten van de sneeuw is dus afhankelijk van de oppervlakte temperatuur op positie 4 (buitenkant buitenste blad). In Figuur 3.45. is er zeer duidelijk onderscheid tussen de afzonderlijke ruiten te zien. Eén ruit is vrijwel schoon terwijl de anderen duidelijk meer sneeuw en ijs bevatten. Nader onderzoek heeft uitgewezen dat deze ruit omgekeerd gemonteerd is waardoor de low-emission coating niet op positie 2 zoals bij de andere ruiten maar op positie 3 zit. Hierdoor absorbeert deze ruit meer warmte, neemt de glastemperatuur toe waardoor er meer sneeuw gesmolten is. Omgekeerd, in perioden waar wel sprake is van condens tegen het glas is deze ruit duidelijk eerder van condens voorzien. Voor de maximale energiebesparing is positie twee echter gunstiger.



Figuur 3.45. Omgekeerde ruit waardoor sneeuw eerder afsmelt.

Het niet of zeer lastig kunnen verwijderen van sneeuw wordt breed gezien als een potentieel probleem dat marktintroductie van energiezuinige isolerende kassen in de weg kan staan. Daarom is er binnen de greenport campus (samenwerking tussen o.a. TU-delft, TNO, Wageningen UR) middels een brainstorm sessie van TU-delft studenten industriële vormgeving, hier aandacht aan besteed. De resultaten zijn beschreven in een tweetal studie verslagen (D. Vos, 2012), (P. Schouten, 2012) en in Figuur 3.46. zijn een paar voorbeelden oplossingsrichtingen van deze brainstorm sessie weergegeven.



Figuur 3.46. Voorbeelden van uitwerking brainstorm sneeuwsmelten (A), Paul Scholten en (B) Daan Vos.

### **Samenvattende conclusie t.a.v. de aanvullende systemen en metingen**

- Koptemperatuur van de plant verschilt onder zomerse omstandigheden niet bij vergelijking met een enkeldeks kas.
- Ondanks de verminderde inzet van warmte is er geen vertraging in de afrijping van de vruchten geconstateerd.
- Het air & energie systeem geeft in deze opzet ca. 25% meer warmte af bij gelijke kas en buistemperatuur.
- De warmteafgifte van het air & energy systeem is in deze configuratie bij een 5 °C buistemperatuur van de slave dan van de master over de slang gelijk. Een apart regelbaar net voor de slave is aan te bevelen.
- De gemeten luchtsnelheden tussen het gewas ten gevolge van het gebruik van het air & energy systeem zijn laag en nemen meestal pas duidelijk toe als er geventileerd wordt.
- De wateropname voor deze teelt was ruim 600 l/m<sup>2</sup>.
- Warmtebeelden hebben aangetoond dat deuren en luchtdoorvoeren van het air & energy systeem koude bronnen voor de kas kunnen zijn
- De isolatie van het kasdek is te goed om sneeuw van het dek te smelten. Hiervoor moet een alternatief gevonden worden.



## 4 Gewasgroei

### 4.1 Onderzoeksopzet

Dit type energie onderzoek wordt meestal zonder een specifieke referentieteel uitgevoerd. Voor de verschillende teelten is een zo goed mogelijke referentieteel voor de productie gezocht met als belangrijkste criteria hetzelfde ras en plantdatum. Dat kan nog altijd betekenen dat door teeltkeuzes als bijvoorbeeld plantdichtheid er verschillen ontstaan die invloed op het eindresultaat van de productie en productkwaliteit kunnen hebben. De vergelijkingen met de referenties moeten dan ook met name indicatief gezien worden om de onderzoeksvraag “heeft het dubbele kasdek negatieve gevolgen op de productie” te kunnen beantwoorden

#### 4.1.1 Komkommer 2010

##### **Gewaskeuze**

Als inregelteelt is er in het najaar van 2010 gekozen voor komkommer, omdat het ook een korte teelt betrof, de kas kwam immers op 5 augustus beschikbaar.

##### **Teeltcondities**

Het standaardras was Ranomi (De Ruiter) en daarnaast stond er als proef het ras Proloog (Rijk Zwaan) in 3-voud (3 veldjes van 9 planten) in de kas. Beide rassen zijn partieel meeldauwresistent. De plantdatum was 6 augustus 2010 en de laatste oogstdatum viel op 11 november 2010. De komkommers werden geteeld aan de hogedraad bij een plantdichtheid van 2.2 planten/m<sup>2</sup>. De planten zijn op 11 oktober gekopt. De vruchten werden steeds om en om gedund, behalve 3 weken voor het toppen. Om de plant wat meer ‘lucht’ te geven zijn er toen 2 vruchten uit gehaald. Na het toppen zijn er 2 scheuten aangehouden.

##### **Metingen**

Wekelijks is de bladaanmaak geregistreerd. Het kleinste blad dat daarbij werd meegenomen had een lengte van ca. 7 cm. Aan het einde van de teelt is de totale plantlengte gemeten.

Op elke oogstdatum werd het aantal vruchten geteld en het gewicht bepaald. Hieruit kon het gemiddeld vruchtgewicht worden berekend. Daarnaast is het aantal en kilo's stekvruchten bepaald.

De producties zijn vergeleken met 2 praktijkbedrijven (Praktijk1 en Praktijk2) met een teelt aan de hogedraad, maar met eerdere plantdata (resp. 22 en 1 juli 2010).

#### 4.1.2 Tomaat

##### **Gewaskeuze**

Zowel in het teeltjaar 2010-2011 als 2011-2012 zijn er tomaten in de Venlow Energy kas geteeld. In eerste instantie was het de bedoeling om in 2010-2011 als vervolg op de teelt van komkommer, paprika als toetsgewas te gebruiken, maar in samenspraak met de opdrachtgevers heeft de BCO uiteindelijk gekozen voor de tomaat. De kas is daarop aangepast door een in hoogte verstelbare groeibuis in de kas te installeren, zie ook paragraaf 2.1.1.

#### 4.1.3 Tomaat 2010-2011

##### **Teeltcondities**

- Ras Komeett (De Ruiter Seeds)
- Enten 1 op 1 geënt op Maxifort (De Ruiter Seeds)
- Plantdatum 23 december 2010 in kas, op mat gezet op 21 januari 2011

- Plantdichtheid 2.55 planten/m<sup>2</sup> (duopot)
- Extra stengels In week 5 is dief (3<sup>e</sup> trosdief) aangehouden bij 1 op de 2 planten: 3.83 stengels/m<sup>2</sup>
- Padbreedte 1.73 cm
- Substraatmat Cultilene Excellent, afmetingen 1.33 x 20 x 7.5 cm (6 planten/mat) 2 planten/pot
- Voeding Starten met startschema, er is niet gerecirculeerd. Aan de hand van frequente bemonstering werd de druppel-EC en/of voedingssamenstelling aangepast
- Toppen Kleine kop uit plant gehaald op 12 september 2011
- Trossnoei 1<sup>e</sup> tros op 4, daarna op 5, in week 20 t/m 27 op 4, afhankelijk van stand plant een enkele keer op 3 of tros eruit, daarna plantaafhankelijke trossnoei op 4 of 5 vruchtjes, vanaf week 32 standaard op 4, na toppen derde tros van boven op 5 en laatste 2 trossen bijpunten.

### **Kasomstandigheden**

De resultaten uit deze kas zijn vergeleken met kas 808 uit het onderzoek met diffuus glas (Dueck et. al., 2012). Deze kas had een oppervlakte van 144 m<sup>2</sup> en op de kas lag niet diffuus, enkel glas. Het ras was gelijk (Komeett), maar de planten stonden één week eerder in de kas. Ook was de uiteindelijke stengeldichtheid iets lager, namelijk 3.3 in plaats van 3.8 stengels/m<sup>2</sup>. De transmissie van deze kas bedraagt ca. 66% en is daarmee goed vergelijkbaar met de Venlow Energy kas zodat hiervan geen verschil in potentiële productie verwacht hoeft te worden.

### **Metingen**

#### *Plantregistratie*

Wekelijks zijn bij 2 x 10 planten (met de extra stengels erbij 2 x 15 stengels) in 2 telvakken verschillende metingen verricht. Eén veldje lag aan de oostzijde en één veldje aan de westzijde van het pad. De volgende parameters werden geregistreerd:

- Lengtegroei
- Kopdikte (ter hoogte van de top van de plant in de voorgaande week)
- Bladlengte (eerste blad onder de bloeiende tros met al gezette vruchtjes)
- Bloeiende tros
- Aantal gezette vruchten
- Plantbelasting
- Geoogste tros

#### *Destructieve metingen*

Vanaf 24 februari tot en met 18 augustus zijn regelmatig van weggenomen bladeren onderin de plant het vers- en drooggewicht bepaald. In totaal is dit 20 maal gemeten. Ter vergelijking is dit in dezelfde periode ook gebeurd in de referentiekas in het onderzoek met diffuus licht (kas 808).

#### *Oogstwaarnemingen*

In het begin is wekelijks geoogst; vanaf week 17 vond de oogst 3 maal per 2 weken plaats.

Het gemiddelde vruchtgewicht werd berekend op basis van het gewicht en aantal vruchten binnen de twee velden met waarnemingsplanten. De oppervlakte van deze 2 velden bedroeg in totaal 7.8 m<sup>2</sup>. De kiloproductie is gemeten van alle planten van 2 carroussels (dubbele rijen) in de kas met een oppervlakte van in totaal 53.3 m<sup>2</sup>.

Van de 2 veldjes per afdeling zijn de volgende waarnemingen verricht:

- Aantal trossen
- Trosnummer geoogste tros
- Nettogewicht in kg
- Aantal goede vruchten
- Aantal neusrot en gescheurd

#### *Vruchtkwaliteit*

De houdbaarheid van de vruchten uit zowel Venlow Energy kas als van de referentie uit de diffuus proef is maandelijks bepaald op 7 april, 9 mei, 22 juni, 22 juli, 17 augustus, 19 september en 17 oktober.

De smaak met behulp van het smaakmodel is van de tomaten uit beide kassen gemeten op 31 maart, 12 mei, 24 juni, 22 juli, 17 augustus en 21 september.

Het vitamine C-gehalte is in totaal 3 maal gemeten op 31 maart, 22 juli en 29 september.

## 4.1.4 Tomaat 2011-2012

### Teeltcondities

- Ras Komeett (De Ruiter Seeds)
- Enten 1 op 1 geënt op Maxifort (De Ruiter Seeds)
- Plantdatum 23 december 2011 in kas (zaaidatum 11 nov), op mat gezet op 25 januari 2012
- Plantdichtheid 2.55 planten/m<sup>2</sup> (duopot)
- Extra stengels In week 6 is dief aangehouden bij 1 op de 2 planten: 3.83 stengels/m<sup>2</sup>
- Toppen Kop uit plant op 12 september 2012

### Kasomstandigheden

De resultaten uit deze kas zijn vergeleken met kas 6 van Green Q Improvement Centre, waar een onderzoek werd uitgevoerd naar limitering van het CO<sub>2</sub>-gehalte bij tomaat. Het ras en de plantdatum was gelijk aan die in de Venlow Energy kas. De plantdichtheid was 2.3 stengels/m<sup>2</sup> en in week 6 is er bij 1 op de 2 planten een dief aangehouden, waardoor de stengeldichtheid op 3.45 stengels/m<sup>2</sup> uitkwam. De transmissie van deze kas bedraagt ca. 72% en is daarmee duidelijk wat beter dan de Venlow Energy kas. Hiervan is een productieverschil te verwachten in het voordeel van de vergelijkingsteelt.

### Metingen

#### *Plantregistratie*

Wekelijks zijn bij 2 x 10 planten (met de extra stengels erbij 2 x 15 stengels) in 2 telvakken verschillende metingen verricht. Eén veldje lag aan de oostzijde en één veldje aan de westzijde van het pad. De volgende parameters werden geregistreerd:

- Lengtegroei
- Kopdikte (ter hoogte van de top van de plant in de voorgaande week)
- Bladlengte (eerste blad onder de bloeiende tros met al gezette vruchtjes)
- Bloeiende tros
- Aantal gezette vruchten
- Plantbelasting
- Geoogste tros

#### *Oogstwaarnemingen*

Het gemiddelde vruchtgewicht werd berekend op basis van het gewicht en aantal vruchten binnen de twee velden met waarnemingsplanten. De oppervlakte van deze 2 velden bedroeg in totaal 7.8 m<sup>2</sup>. De kiloproductie is gemeten van alle planten van 2 carroussels (dubbele rijen) in de kas met een oppervlakte van in totaal 53.3 m<sup>2</sup>.

Van de 2 veldjes per afdeling zijn de volgende waarnemingen verricht:

- Aantal trossen
- Trosnummer geoogste tros
- Nettogewicht in kg
- Aantal goede vruchten
- Aantal neusrot en gescheurd

#### *Vruchtkwaliteit*

De houdbaarheid van de vruchten uit zowel Venlow Energy kas als van de referentie (CO<sub>2</sub>-proef) is 2 maal bepaald, namelijk op 18 juni en 9 augustus.

## 4.2 Resultaten

### 4.2.1 Komkommer 2010

#### Teeltverloop

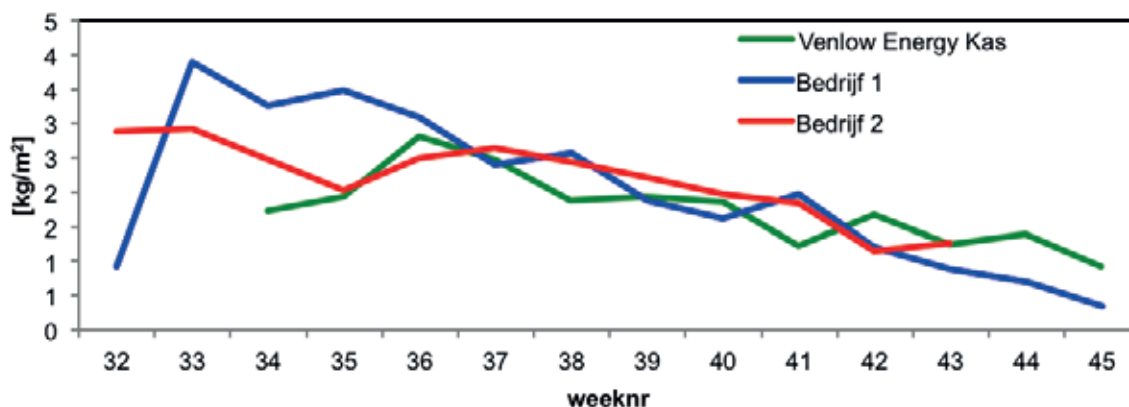
De teelt van de komkommers is in het algemeen goed verlopen. Een hogedraadteler heeft regelmatig de proef bezocht en geadviseerd. In september stonden de planten er vrij vegetatief op. Ondanks het ontbreken van een groeibuisje onder de kop, kwamen broeikoppen nauwelijks voor. Begin oktober begon er wat Botrytis op de stengels te ontstaan. Ook ontstond op sommige afstervende bloemetjes Botrytis, wat later kon leiden tot stekvruchten. Half november (eind teelt) was in beide getoetste rassen ongeveer de helft van de planten weggefallen. Volgens telers kan dit te maken hebben met de meeldauwresistentie. Bekend is dat meeldauwresistentie gepaard kan gaan met een grotere gevoeligheid voor Botrytis, met name in de herfst. Daarnaast werkt ontvochtiging met buitenlucht in de herfst vaak onvoldoende door de relatief hoge buitentemperatuur en luchtvochtigheid zodat zo'n ontvochtigingssysteem geen voordeel geeft ten opzichte van de traditionele manier van ontvochtigen. Ook in de praktijk was er een behoorlijke wegval door Botrytis, echter cijfers hiervan ontbreken.

#### Plantregistratie

Tot en met 15 oktober waren er bij het standaardras Ranomi en het proefras Proloog resp. 64.2 en 64.9 bladeren gevormd. Het verschil tussen beide rassen was dus erg klein. Dit geldt ook voor de totale plantlengte. Deze was ca. 7.35 m.

#### Productie en kwaliteit

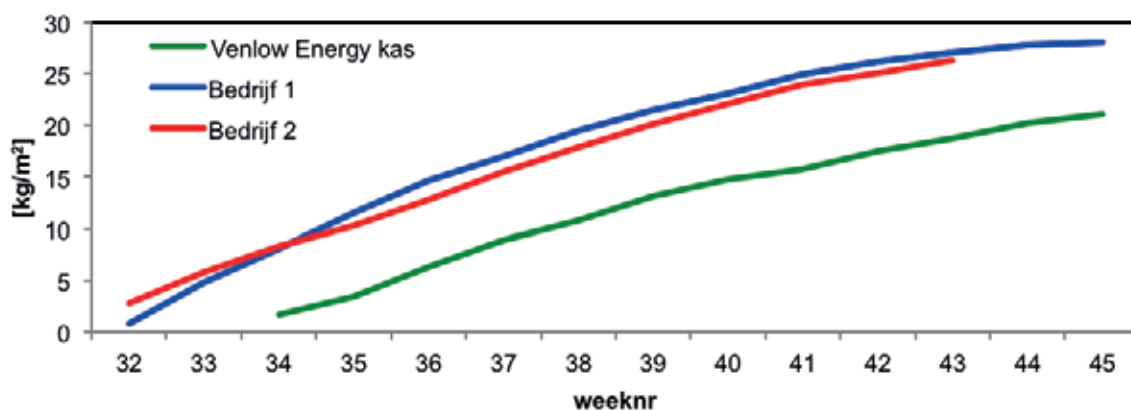
Ook in productie en kwaliteit waren de verschillen tussen de rassen weer erg klein of afwezig. Het cumulatief aantal stuks kwam bij beide rassen uit op 53 vruchten/m<sup>2</sup> en het totaal aantal kilo's op 21.1 kg/m<sup>2</sup> bij een gemiddeld vruchtgewicht van 398 g. Dit is een goede productie voor deze plantdatum. In Figuur 4.1. is het verloop van de productie in de Venlow Energy kas weergegeven in vergelijking met 2 praktijkbedrijven met teelt aan de hogedraad.



Figuur 4.1. Het productieverloop van komkommers in het najaar van 2010 in de Venlow Energy kas en op twee praktijkbedrijven.

Hoewel er verschil is in plantdatum en dus start van de productie, verloopt de productie later redelijk gelijk met beide praktijkbedrijven. Dit is ook te zien in Figuur 4.2, waar de cumulatieve productie is weergegeven. De productielijnen van de drie proefplaatsen lopen behoorlijk parallel.





Figuur 4.2. Cumulatieve productie van komkommers in het najaar van 2010 in de Venlow Energy kas en op twee praktijkbedrijven.

## 4.2.2 Tomaat 2010 - 2011

### Teeltverloop

Vrijwel wekelijks hebben vertegenwoordigers van de begeleidingscommissie onderzoek (BCO) de proef bezocht, is het gewas kritisch bekeken en zijn er adviezen gegeven over klimaatinstellingen en andere teeltzaken. Dit werd altijd gecombineerd met een bezoek aan de kassen binnen het onderzoek met diffuus licht. Zo kon steeds worden vergeleken met de referentieafdeling met hetzelfde ras. Wel was de plantdatum in de referentie 1 week eerder.

#### Januari

De hoogte van de eerste tros varieerde van het 8<sup>e</sup> tot het 10<sup>e</sup> blad. Begin januari oogde het gewas in de Venlow Energy kas vrij vegetatief, maar de plant had nog energie over. Ook in de winter blijkt de kastemperatuur onder het dubbele glas bij veel instraling snel te stijgen. De gerealiseerde etmaaltemperatuur is daarom bij veel licht hoger dan bij de referentie, maar het gewas kan dit ook aan. De plantontwikkeling verloopt hierdoor sneller dan bij de referentie en ondanks een week later planten valt de eerste oogst in dezelfde week.

Eind januari is het groeibuisje als eerste net gebruikt. Aan de hand van de metingen met de pyrgeometer wordt er bij veel uitstraling eerder opgestookt om condensatie op het gewas te voorkomen.

Ondanks het dubbele glas is de RV niet echt hoog, in ieder geval lager dan in de praktijk, zie ook paragraaf 3.2.

Bij wat hogere buitentemperaturen wordt de voornachttemperatuur op bijv. 12 °C gezet om de hoge temperaturen overdag te compenseren. Soms wordt ter compensatie van de hoog oplopende temperaturen overdag een langere voornacht aangehouden. Afhankelijk van de buitentemperatuur wordt 's avonds veel gelucht om de temperatuur sneller omlaag te krijgen in verband met een langzame afkoeling van de kas.

#### Februari

In week 5 zijn de planten verdubbeld. Half februari stond het gewas bovenin nogal vol. Daarom is er toen halverwege de plant en bij de splitsing van de dief en de hoofdstengel een blad weggenomen.

#### Maart

In maart stond het gewas er mooi op met een goede kleur, was generatiever en de plant werkte meer op zijn vruchten dan bij de referentie. Bij sommige achterblijvende stengels (van de dieven) is half maart een tros verwijderd. Bladranden of botrytis traden er in deze periode niet op. Eind maart stond het gewas behoorlijk in het blad en sommige bladeren begonnen halverwege de plant al te verkleuren. Daarom zijn er in de bovenste helft van de plant enkele blaadjes verwijderd, zodat het gewas meer open werd.

#### April

Begin april zit er voldoende snelheid in het gewas. In week 15 zijn er weer 2 blaadjes geplukt in de bovenste helft van

de plant. Half april staat het gewas er wat minder op dan in de referentie: een zwakkere kop en wat stekere trossen. Om de temperatuur te drukken wordt er bij een lagere temperatuur geventileerd en wordt er eerder naar de voornacht gegaan. Er worden fijnere vruchten geoogst dan in de referentie als gevolg van hoger gerealiseerde etmaaltemperaturen en het eerder en meer aanhouden van stengels. Vanaf eind april tot half juli is er geen blad bovenin of halverwege de plant verwijderd.

#### Mei

Begin mei staat er een groeizaam, open gewas met een mooie kop. Na een warm weekend (7/8 mei) met veel instraling zijn er bloemtrossen ontstaan met een wat getrokken stand, zwakke trospunten en verbrande bloemkronen. Er wordt nu luchtbevochtiging toegepast. Half mei zijn de onderste trossen wat ongelijk. De conclusie is dat achteraf iets te vroeg in de teelt een extra stengel is aangehouden. Het gewas staat wel minder 'hard' (malser) dan bij de referentie. Er staat wel een kwaliteitsgewas met mooie kop die wat rek vertoont. In de laatste week van mei staat de kop wat licht van kleur, terwijl er nog steeds wat variatie tussen planten is.

#### Juni

Begin juni zijn de koppen nog wat sterker geworden met minder onderlinge variatie tussen de planten mede dankzij het toepassen van selectieve trossnoei. De gewasstand is in week 23 en 24 prima. Gewas is wat groeizamer, maar wat gerekter dan in de referentie. Eind juni is het gewas mede door een hoge plantbelasting niet sterker geworden.

#### Juli

Begin juli werd het gewas wel weer sterker door het lossen van veel vruchten. Vanaf half juli is wekelijks bovenin een klein blaadje weggenomen. Ook is 3 maal een blad halverwege de plant geplukt, omdat het gewas vrij vol oogde.

#### Augustus

Gestreefd wordt naar 15 bladeren per stengel. Half augustus is het trosje bovenin wat aan de zwakke kant. Bij sommige bloemetjes is er wat verbranding van de kelkblaadjes opgetreden. Dit was mogelijk het gevolg van een tijdelijk te hoge temperatuur in de kop van de plant. Planten staan er half augustus echter sterker op dan bij de referentie van de diffuus glasproef, namelijk sterkere trossen, iets dikkere stengels en minder gerekte. Er vallen nu wel enkele stengels weg door botrytis. Eind augustus vertonen de meeste planten een goede stand. Enkele planten hebben een gelige kop en zwakke trossen.

#### September

Begin september staat er een evenwichtig, open gewas. Wel blijven er wat planten uitvallen. Op advies van de BCO zijn de stengels uit de beugels gehaald voor een betere luchtcirculatie rondom de stengels. Het gewas is op 12 september gekopt. In week 38 staat de bovenste tros wat stekiger.

#### Oktober

Begin oktober staat het gewas er prima op: goed gezette trossen, fris blad zonder Botrytis, weinig plantuitval en een mooi geoogst product. Het gebruikte groeibuisje in de morgen is maximaal 45 °C.

#### November

Tegen het einde van de teelt is er veel uitval van stengels door Botrytis. Dit is waarschijnlijk grotendeels het gevolg van het feit dat de stengels deels op de grond liggen. Omdat de buisrailverwarming nauwelijks wordt gebruikt, drogen deze stengels onvoldoende op en kan hierop gemakkelijk Botrytis ontstaan. Ook in de referentieafdeling was er in de laatste teeltweken echter veel stengeluitval als gevolg van Botrytis.

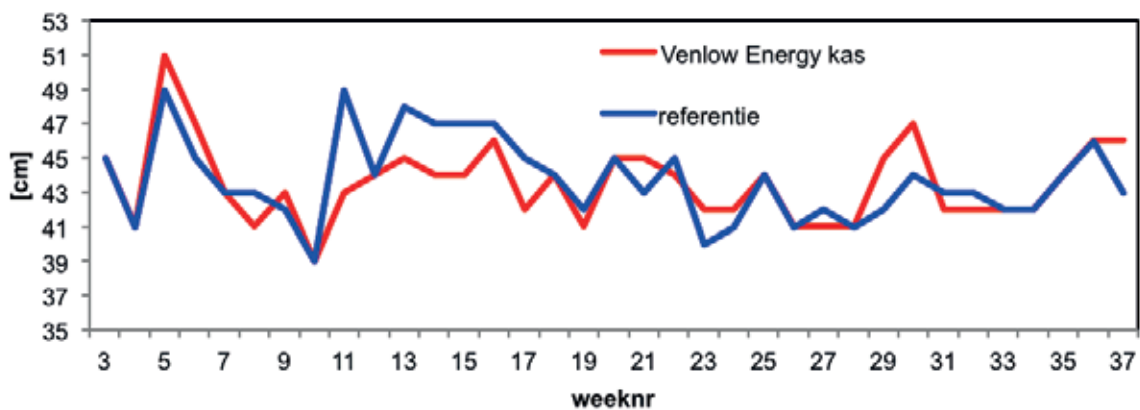
### Plantregistraties

In Tabel 4.1. zijn de resultaten van een aantal metingen aan planten in de Venlow Energy kas en de referentiekas weergegeven.

Tabel 4.1. Resultaten van plantmetingen in de Venlow Energy kas en de referentiekas gemiddeld over de gehele teelt.

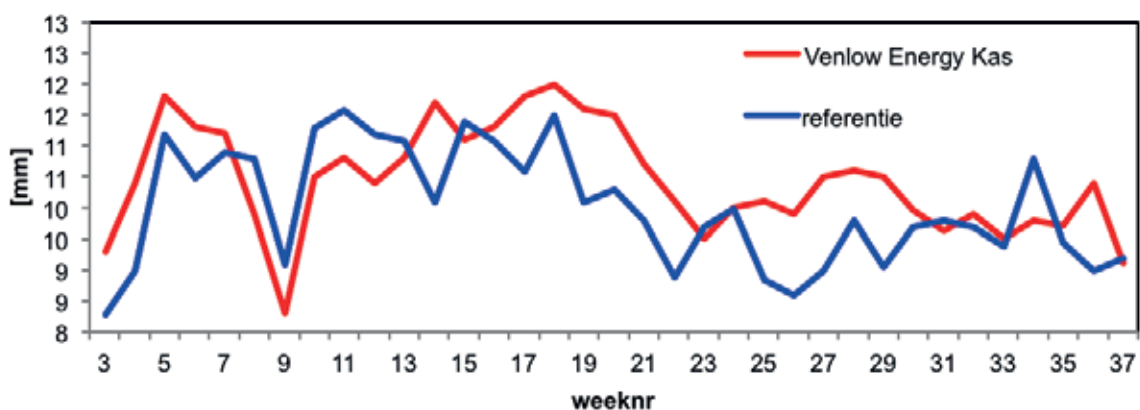
	Venlow Energy kas	Referentiekas
Lengtegroei (cm/week)	24.4	25.1
Bladlengte (cm)	43.5	43.7
Kopdikte (mm)	10.4	10.0
Bloeijsnelheid (aantal tros/week)	0.80	0.81

De planten in de Venlow Energy kas rekten iets minder dan bij de referentie. Dit resulteerde in iets kortere planten aan het einde van de teelt. De totale plantlengte in de Venlow Energy kas en de referentiekas was respectievelijk 9.27 en 9.55 m. Een gedeelte van dit verschil is echter veroorzaakt door de 1 week latere plantdatum in de Venlow Energy kas. Gemiddeld waren er in bladlengte nauwelijks verschillen. Wel is de bladlengte in de Venlow Energy kas in week 11 t/m 17 wat minder dan in de referentiekas (zie Figuur 4.3.).



Figuur 4.3. Bladlengte per week gemeten in de Venlow Energy kas en de referentiekas.

De kop is in de Venlow Energy kas gemiddeld 0.4 mm dikker dan in de referentiekas. Dit is ook te zien in Figuur 4.4. Vanaf week 16 t/m week 30 is de kop gedurende een lange periode dikker in de Venlow Energy kas dan in de referentiekas.



Figuur 4.4. Kopdikte per week gemeten in de Venlow Energy kas en de referentiekas.

De verschillen in bloeijsnelheid zijn gering. Uiteindelijk zijn in de Venlow Energy kas en de referentiekas respectievelijk 28.9 en 29.4 trossen per stengel gevormd, dus slechts een halve tros verschil.

### Destructieve metingen

Er bleken geen verschillen in het droge stofgehalte te zijn van de afgeplukte onderste bladeren in de Venlow Energy kas en de referentiekas. Gemiddeld kwam het droge stofgehalte van deze bladeren in beide kassen uit op 8.4%.

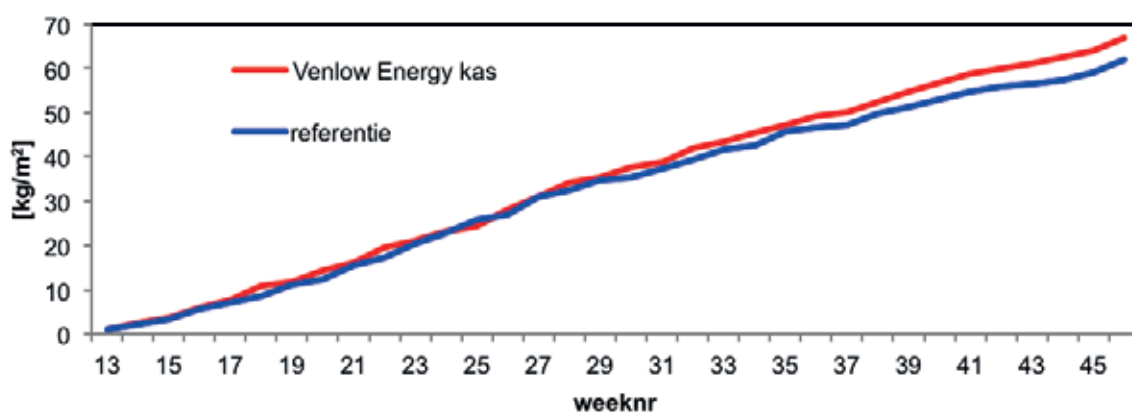
### Productie en kwaliteit

In Tabel 4.2. is de eindproductie weergegeven van zowel de Venlow Energy kas als de referentiekas.

Tabel 4.2. Eindproductie van de tomatenteelt in 2010-2011 in de Venlow Energy kas en de referentiekas.

	Aantal vruchten/m <sup>2</sup>	Aantal kg/m <sup>2</sup>	Gemiddeld vruchtgewicht (g)
Venlow Energy kas	427	67	144
Referentie kas	394	62	155

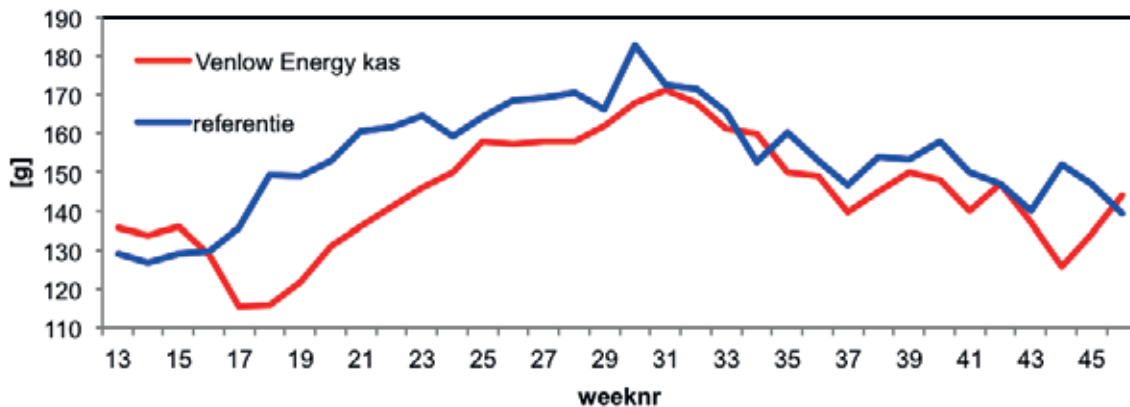
In de Venlow Energy kas zijn er ca. 8% meer vruchten en kilo's geoogst als in de referentiekas. Wel was het gemiddelde vruchtgewicht in de Venlow Energy kas 9 gram lager dan bij de referentie. Dit zal mede het gevolg zijn geweest van de hogere stengeldichtheid in de Venlow Energy kas ten opzichte van de referentie. De productie in de Venlow Energy kas is prima te noemen. In Figuur 4.5. is het verloop van de cumulatieve productie in beide kassen gegeven.



Figuur 4.5. Cumulatieve productie in de Venlow Energy kas en de referentiekas.

In de figuur is te zien dat de beginproductie in dezelfde oogstweek valt, ondanks een latere plantdatum van één week in de Venlow Energy kas. Al spoedig ligt de productie in de betreffende kas iets hoger en rond week 25 vrijwel gelijk, om daarna steeds verder uit te lopen, wat uiteindelijk resulteerde in een 5 kg hogere productie per m<sup>2</sup> in de Venlow Energy kas.

In Figuur 4.6. is het verloop van het vruchtgewicht per week weergegeven.



Figuur 4.6. Gemiddeld vruchtgewicht per week in de Venlow Energy kas en de referentie in 2011.

Vanaf week 17 is het gemiddeld gewicht van de vruchten uit de Venlow Energy kas vrijwel steeds lager dan bij de referentie. De grootste verschillen zijn er in de weken 17 tot en met 23. Mogelijk heeft dit te maken met het iets te vroeg aanhouden van relatief veel stengels in deze kas. Midden in de zomer zijn de vruchten in beide kassen duidelijk zwaarder. De uitwendige kwaliteit is in beide kassen vrijwel steeds goed geweest. In Tabel 4.3. worden de resultaten van de houdbaarheid en smaakanalyses weergegeven.

Tabel 4.3. Houdbaarheid, smaak, refractie, zuurgehalte, % sap en het vitamine C gehalte van de vruchten uit de Venlow Energy kas en de referentie.

	Houdbaarheid (dagen)	Smaakcijfer (0-100)	Refractie (°Brix)	Zuurgehalte (mmol H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> /100 g)	Sap (%)	Vitamine C (mg/100 g vers gewicht)
Venlow	13.2	36	4.1	6.4	22	12.1
Referentie	14.5	36	4.0	6.4	24	11.7

Gemiddeld over 7 inzetdata is de houdbaarheid bij de Venlow Energy kas circa één dag korter dan bij referentie, hoewel een houdbaarheid van 14 dagen toch nog goed is. Verklaring hiervoor is waarschijnlijk de hogere etmaaltemperatuur. Bekend is namelijk dat een hogere temperatuur de houdbaarheid verkort. Gemiddeld over de gehele periode is de etmaaltemperatuur 0.6 °C hoger geweest in de Venlow dan in de referentie proef. In smaak, percentage sap en andere gemeten eigenschappen zijn de verschillen zeer gering of afwezig.

## 4.2.3 Tomaat 2011 - 2012

### Teeltverloop

Vrijwel wekelijks hebben één of twee leden van de begeleidingscommissie onderzoek (BCO) de proef bezocht en geadviseerd.

#### Januari

Volgens de BCO staan de planten er in de eerste weken van januari goed bij. Half januari is wel aan de tros te zien dat deze zon nodig heeft. De voornacht wordt daarom op 14 °C gezet, maar wordt door goede isolatie van het dubbele glas niet gehaald. In de tweede helft van januari staat de plant voldoende generatief met prima 1<sup>e</sup> tros en uniform over de gehele kas. Ook 2<sup>e</sup> tros ziet er goed uit.

#### Februari

Er wordt geprobeerd om uit energiebesparingsoogpunt de buisrailverwarming zo weinig mogelijk te gebruiken. Op 7 februari is de temperatuur van alle matten in de kas gemeten bij een buitentemperatuur van -11 °C. De grootste afwijking

was 1.5 °C, wat heel goed is. Planten zijn sterk: er moet opgepast worden voor te grove bloemen. Daarom wordt in de 2<sup>e</sup> week van februari de stooktemperatuur op de dag 26 in plaats van 24 °C. Door open gewasstand wordt er in de kop nog geen blaadje verwijderd.

Eind februari vindt de BCO de gerealiseerde temperatuur van bijna 20 °C wat aan de hoge kant. Daarom wordt de stooktemperatuur bij een gelijke DIF 1.5 °C naar beneden bijgesteld. Omdat de temperatuur naar de nacht toe langzaam daalt, wordt de voornacht verlengd. De 1<sup>e</sup> tros aan de dief wordt op 4 vruchten gedund.

#### Maart

Omdat het eind februari/begin maart vrij donker weer is en de kop dunner wordt (rond de 10 mm), worden er wat lagere etmaaltemperaturen aangehouden. Wel wordt er gezorgd voor voldoende ontwikkelingssnelheid. Half maart is het gewas goed teruggekomen, maar de zich ontwikkelende tros is wat aan de zwakke kant. Daarom worden de trossen selectief gesnoeid en bij achterblijvende dieven wordt een hele tros verwijderd. Vanaf week 13 wordt er niet meer gebeugeld. Eind maart staat er een gewas met een goede kop, bladkleur en wortels. De oogst valt in dezelfde week als vorig jaar (bij dezelfde plantdatum). De plant lijkt geen stralingswarmte van de groeibuis te missen voor de afrijping van de onderste trossen.

#### April

Gewas is begin april weer sterker geworden ten opzichte van de voorgaande week. In de kop en halverwege de plant is er begin april een blaadje weggehaald. Qua klimaat worden er weinig aanpassingen gedaan. In de tweede helft staat de plant er goed op: goede gewaskleur, geen bladrandjes, zeer weinig Botrytis, geen zwakke planten, nauwelijks magnesiumgebrek. Om de plant tomaten te laten lossen, wordt er als het mogelijk is een wat hogere temperatuur in de kas toegelaten. Streef temperatuur bij veel licht (> 2000 J/cm<sup>2</sup>) is ca. 21 °C.

#### Mei

In het gewas is er meer regelmaat te zien dan vorig jaar. De ziekte- en plaagdruk is goed onder controle. Botrytis treedt nauwelijks op, terwijl dit op een aantal praktijkbedrijven in deze periode een groot probleem vormt. Ten opzichte van vorig jaar is er een achterstand in productie, maar dit heeft te maken met een langdurig lagere instraling in een vergelijkbare periode dan in 2011. Ook treedt er daardoor wat abortie op. Er zijn nog steeds geen bladrandjes.

#### Juni

Tros wordt steeds sterker. Half juni is de kop iets zwakker geworden, waarschijnlijk als gevolg van de matige instraling. Bij warm weer met veel instraling zijn er ook planten te zien met slappe blaadjes in de kop. Als actie worden er daarom in de voornacht en ochtend wat lagere temperaturen aangehouden en wordt er 2 keer per week in plaats van 3 keer per 2 weken geoogst. Eind juni is de kop duidelijk verbeterd. De wortels blijven goed. Tot 1 juli wordt er geen tussenblad verwijderd.

#### Juli

In de eerste helft van juli staat het gewas wat aan de vegetatieve kant met een niet al te sterke tros. Er wordt geprobeerd een zo laag mogelijke etmaaltemperatuur te realiseren, maar als de luchtvochtigheid te laag dreigt te worden, wordt er met de luchtramen geknepen.

In de tweede helft van juli zijn de kop en nieuwe trossen duidelijk beter.

#### Augustus

Begin van de maand vertoont de plant voldoende groei in de kop met een goede tros en een redelijk hoge bloei in de kop. Half augustus wordt begonnen met bovenin de kop een blaadje weg te nemen, omdat anders het bladoppervlak te hoog wordt in de herfst. De bladeren worden ook langer. Vooral in de ochtend wordt er zo koel mogelijk geteeld. De wortels blijven er goed uitzien. Botrytis komt nog steeds sporadisch voor. Eind augustus wordt de plant weer sterker, maar toont wat chlorotische verschijnselen in de kop. Daarom meer Fe en Zn in de voedingsoplossing. Door het hete weer en hoge plantbelasting is er wel wat miszetting.

## September

Begin september is het erg warm geweest met veel instraling. Hierdoor is er een enkel bloemetje afgefallen. Met deze weersomstandigheden hadden we gewoon de luchtbevochtiging moeten gebruiken. Op 12 september is er een klein kopje uit de plant gehaald. Het gewas vertoont een goede stand.

## Oktober

Het gewas staat er prima op met hier en daar een gele stengel. Half oktober begint er wel wat Botrytis op de stengels te ontstaan en moeten een aantal planten worden verwijderd.

## November

Begin november is de kleur van de stengels, het blad en de wortels mooi. Er wordt rustig geteeld met lage etmaaltemperaturen. Er blijft weinig plantuitval door Botrytis.

### Plantregistraties

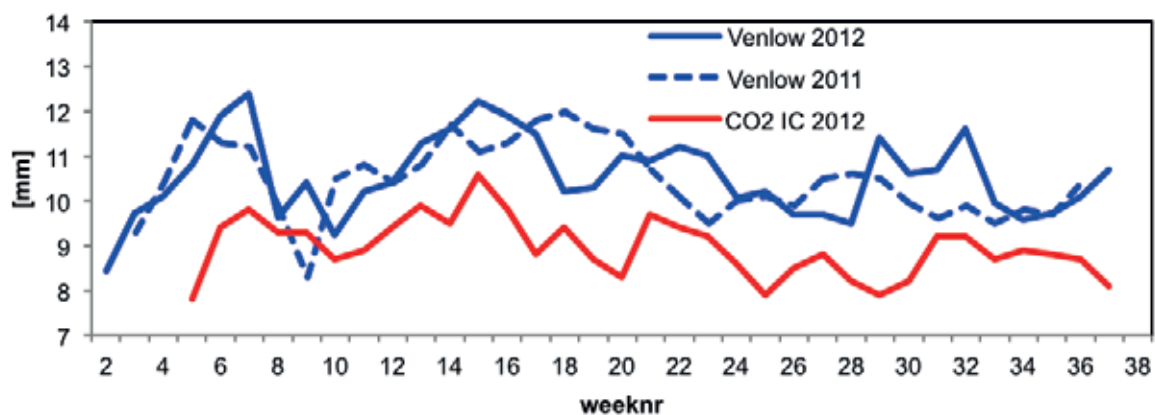
In Tabel 4.4. zijn de resultaten van een aantal metingen aan planten in de Venlow Energy kas van de teelten in 2011 en 2012 en de referentie (CO<sub>2</sub>-proef GreenQ Improvement Centre) weergegeven.

Tabel 4.4. De resultaten van enkele plantmetingen in de Venlow Energy kas 2011 en 2012 en de referentie (CO<sub>2</sub> IC 2012) gemiddeld over de gehele duur van de teelten.

	Venlow 2011	Venlow 2012	CO <sub>2</sub> IC 2012
Lengtegroei (cm/week)	24.4	25.1	21.0
Bladlengte (cm)	43.5	44.6	41.7
Kopdikte (mm)	10.4	10.6	8.9
Bloeisnelheid (aantal tros/week)	0.83	0.83	0.75

De planten in de Venlow Energy kas 2012 groeiden per week iets sterker dan in voorgaande teelt in dezelfde kas, maar veel meer dan in de CO<sub>2</sub>-proef op het IC. De totale plantlengte in de Venlow Energy kas was in 2011 en 2012 respectievelijk 927 en 939 cm en op het IC 809 cm. Procentueel gezien was het verschil 16%, wat erg groot is. In bladlengte en kopdikte is min of meer hetzelfde te zien. De bloeisnelheid op het IC lag lager, wat deels verklaarbaar is uit de lager gerealiseerde etmaaltemperatuur (18.8 in plaats van 19.4 °C). Uiteindelijk zijn er in de Venlow Energy kas en op het IC respectievelijk 29.9 en 27.7 trossen ontwikkeld.

In Figuur 4.7. en 4.8 is het verloop van de kopdikte en plantbelasting in de drie teelten weergegeven.



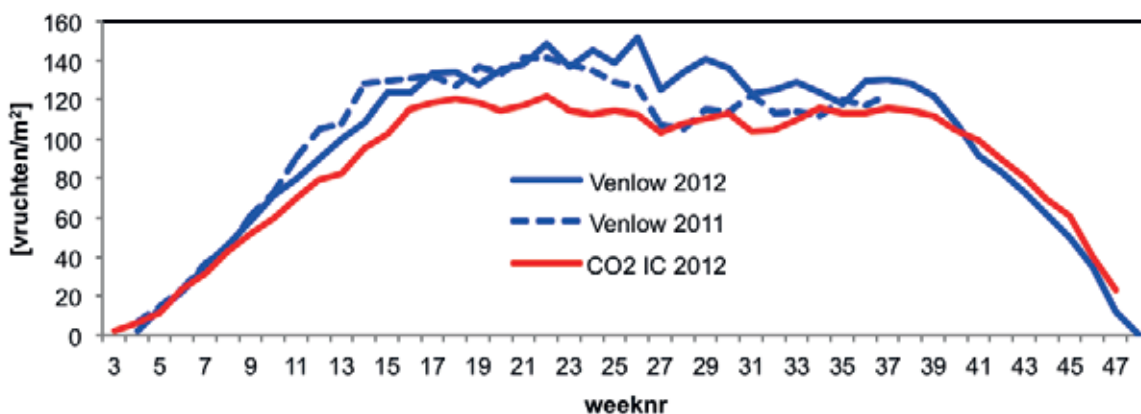
Figuur 4.7. Kopdikte per week gemeten in de Venlow Energy kas in 2011 en 2012 en in de CO<sub>2</sub>-proef op het IC in 2012 (referentie).



Duidelijk is te zien dat de kopdikte bij de referentie elke week fors onder die van beide teelten in de Venlow Energy kas blijft.

Als de teelten van 2011 en 2012 in de Venlow Energy kas met elkaar worden vergeleken is te zien dat de plantbelasting in 2012 iets trager oploopt dan in 2011. Dit zal deels het gevolg zijn van het één week later aanhouden van extra stengels, maar vooral van een lagere instraling in de voorjaarmaanden in 2012 ten opzichte van 2011. Vanaf week 25 is de plantbelasting in 2012 juist wat hoger dan in 2011.

Als de plantbelasting in de Venlow Energy kas in 2012 wordt vergeleken met die in de CO<sub>2</sub>-proef op het IC, dan is duidelijk te zien dat deze bij het IC in de meeste weken fors lager ligt. Dit heeft grotendeels te maken met de lagere stengeldichtheid op het IC (3.3 in plaats van 3.8 stengels/m<sup>2</sup>).



Figuur 4.8. Plantbelasting per week gemeten in de Venlow Energy kas in 2011 en 2012 en in de CO<sub>2</sub>-proef op het IC in 2012 (referentie).

### Productie en kwaliteit

In Tabel 4.5. is de eindproductie weergegeven van de Venlow Energy kas (teelt 2011 en 2012) en de referentie (CO<sub>2</sub> IC 2012).

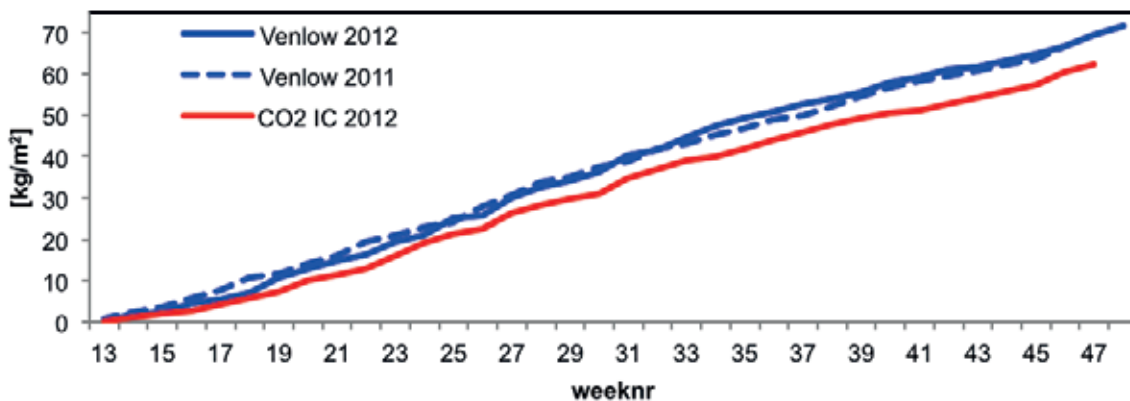
Tabel 4.5. Eindproductie van de tomatenteelt in 2010–2011 en 2011–2012 in de Venlow Energy kas en van de CO<sub>2</sub>-proef op het IC in 2011-2012 (referentie).

	Vruchten [aantal /m <sup>2</sup> ]	Totaal productie [kg/m <sup>2</sup> ]	Gemiddeld vruchtgewicht [g]
Venlow Energy kas 2011	427	67	144
Venlow Energy kas 2012	503	72	141
CO <sub>2</sub> -proef IC 2012	406	63	154

Hoewel de productie in de Venlow Energy kas in 2011 goed was, is er in 2012 nog 5 kg/m<sup>2</sup> méér geoogst. De totale opbrengst aan goede vruchten was 72 kg/m<sup>2</sup>. Dit is een erg hoge productie, ook in vergelijking met de praktijk. Er zijn in 2012 duidelijk meer vruchten geoogst dan in 2011, maar wel met een 3 gram lager vruchtgewicht. Vooral in de tweede helft van de teelt zijn er in 2012 een groter aantal vruchten geoogst.

De referentie (CO<sub>2</sub>-proef IC) bleef behoorlijk achter in productie, namelijk zo'n 9 kg/m<sup>2</sup>, dat is 15%. Dit is het gevolg van bijna een kwart minder, maar wel 8% zwaardere vruchten. Het lagere aantal vruchten bij de referentie is het gevolg van de lagere stengeldichtheid, ontwikkeling van minder trossen (vooral temperatureffect) en mogelijk het toepassen van meer trossnoei. Het kan zijn dat het lagere CO<sub>2</sub>-gehalte op de dag ook een rol gespeeld bij het ontstaan van de productieve verschillen. Het gemiddelde CO<sub>2</sub>-gehalte op de dag in 2012 in de Venlow Energy kas en de CO<sub>2</sub>-proef was respectievelijk 634 en 545 ppm. Zie ook paragraaf 3.2.1 voor gerealiseerde CO<sub>2</sub> niveaus in de teeltjaren 2011 en 2012 van de Venlow Energy kas.

In Figuur 4.9. is de cumulatieve productie gegeven van de drie teelten.

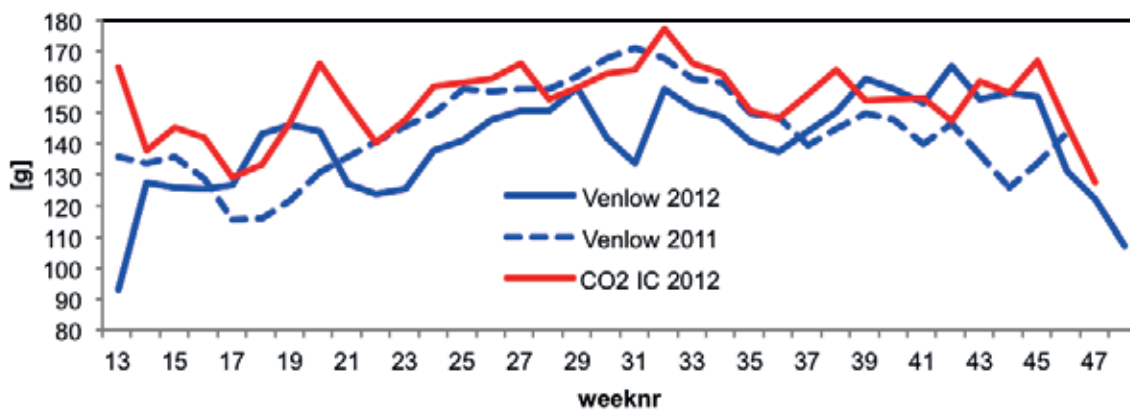


Figuur 4.9. Cumulatieve productie in de Venlow Energy kas in 2011 en 2012 en bij de referentie (CO<sub>2</sub>-proef IC 2012).

In de eerste helft van de teelt van 2012 blijft de productie in de Venlow Energykas iets achter bij die in 2011. In de tweede helft van de teelt is dit net andersom en komt deze een aantal kilo's hoger uit dan in 2011. Aan het einde van de teelt trad er in 2012 ook minder stengeluitval als gevolg van Botrytis op dan in 2011 en mede daardoor was de oogstperiode toen 2 weken korter.

Het productieververschil in 2012 tussen de Venlow Energy kas en de CO<sub>2</sub>-proef op het IC is vooral in de eerste helft van de teelt veroorzaakt. Later blijft het ontstane verschil in productie redelijk constant.

In Figuur 4.10. is het verloop van het vruchtgewicht per week weergegeven in de drie teelten.



Figuur 4.10. Verloop van het gemiddeld vruchtgewicht per week in de drie teelten.

Als de beide teelten in de Venlow Energy kas met elkaar worden vergeleken, dan is te zien dat het vruchtgewicht bij de teelt van 2012 een lange periode (week 21 tot en met 36) onder die van 2011 ligt. In de periode erna is deze juist hoger. Dit zal grotendeels te maken hebben met instaltingsverschillen.

Vóór week 39 van het jaar 2012 ligt het vruchtgewicht op het IC hoger dan in de Venlow Energy kas, daarna liggen de vruchtgewichten ongeveer op hetzelfde niveau.

De houdbaarheid gemiddeld over twee inzetdata in de Venlow Energy kas en de CO<sub>2</sub>-proef op het IC was respectievelijk 14.1 en 16.4 dagen. De houdbaarheid van de tomaten uit de CO<sub>2</sub>-proef was dus enkele dagen langer dan van de tomaten uit de Venlow Energy kas.

**Samenvattende conclusie t.a.v. productie in de drie teelten.**

- Herfstteelt komkommer 2010 : vergelijkbare productie met de praktijk.
- Tomaat 2010 - -2011 : 7% meer productie dan bij referentieteelt.
- Tomaat 2011 - 2012 : 10% meer productie dan bij vergelijkbare teelt.
- Met betrekking tot de kwaliteit zijn er geen consequente verschillen waargenomen.
- Het gerealiseerde kasklimaat heeft, hoewel soms anders verlopen als in de praktijk, niet tot gewastechnische problemen geleid.

## **5 Publiciteit**

De publicitaire aandacht rond de Venlow Energy kas als onderdeel van het IDC is behoorlijk groot geweest. Naast grote aantallen bezoekers, waarvan enkele 10-tallen op speciaal verzoek gericht deze kas bezocht hebben, is er ook zeer regelmatig met en door de schrijvende pers aandacht aan dit project besteed. In Bijlage 2 is een overzicht van de meest relevante artikelen en publicaties / presentaties gegeven.



## 6 Conclusies

De experimenten in de Venlow Energy kas hebben laten zien dat het goed mogelijk is om bij lage input van energie (minder dan 50% ten opzichte van zuinige tuinders), toch een praktijkconforme productie te bereiken bij een slechts geringe toename van het elektriciteitsgebruik.

Naast de hoge isolatiegraad door het dubbele kasdek en het beweegbare scherm is een groot deel van de besparing bereikt door het toegepaste teeltmanagement. Het uitbannen van de minimumbuis temperatuur heeft niet tot zichtbare problemen geleid. De besparing op warmte laat door het jaar dan ook twee duidelijke seizoenen zien: de winter waar het kasdek en scherm voor de besparing zorgt en de zomer waar vooral het teeltconcept energiebesparing oplevert.

Het lage energiegebruik in de zomer, van week 19 t/m 37 slechts  $1.4 \text{ m}^3/\text{m}^2$  (2012), heeft nog wel het nadeel dat er om het productieniveau te halen er absoluut een externe  $\text{CO}_2$  bron beschikbaar moet zijn. In deze periode is er een kleine  $30 \text{ kg}/\text{m}^2$   $\text{CO}_2$  gedoseerd terwijl er slechts  $2.5 \text{ kg}/\text{m}^2$  beschikbaar zou zijn gekomen bij de opwekking van deze warmte in een ketel. Ook bij een zuinige doseerstrategie zal op jaarbasis al snel zo'n  $15 \text{ kg CO}_2$  ingekocht moeten worden.

De ontvochtiging met buitenluchtaanzuiging, tot en met 2011 via de regain en in 2012 met het air & energy systeem, heeft naar behoren gefunctioneerd. Wel is gebleken dat de kasconstructie behoorlijk lek was zodat een deel van de ontvochtiging via gaten en kieren is verlopen. Op praktijkschaal, bij beter afgedichte kassen, zal de ontvochtigingsunit beduidend meer gaan draaien. Daar staat weer tegenover dat het energiegebruik nog iets lager kan zijn als deze lekcomponent bij complete nieuwbouw is opgeheven. Bij langdurig gebruik van de ontvochtiging bleek het air & energy systeem ca. 80% van de voelbare warmte terug te winnen.

Waar in het verleden bij slangverwarmingssystemen grote problemen met horizontale temperatuurverschillen ontstonden heeft het air & energy systeem met een naverwarming in de slang aangetoond dat de temperatuur van de lucht in de slang gelijk kan blijven. Bij opschaling naar praktijkafmetingen moeten de master en de slave wel apart regelbaar blijven om de warmteafgifte van de slang te kunnen sturen.

Bij de ombouw naar het air & energy systeem is de groeibuis tussen het gewas komen te vervallen. Deze wordt in de praktijk vaak actief ingezet om afrijping van trossen te versnellen. Het verwijderen van deze verwarming heeft niet tot een aantoonbare vertraging in de afrijping gezorgd.

Het kasdek heeft goed gepresteerd gezien het energiegebruik en de behaalde productie. De sneeuwrijke winters van 2011 en 2012 hebben wel een potentieel gevaar laten zien: afstoken van de sneeuw van het dek is niet mogelijk. Hier ligt nog wel een uitdaging die nadere aandacht behoeft.

Een potentiële productiewinst zou nog bereikt kunnen worden als het kasdek een diffuse laag krijgt. De kas houdt wel duidelijk langer warmte vast zodat bij voornachtverlagingen, indien gewenst, agressiever gelucht moeten worden. Dit langzamere afkoelen heeft niet tot zichtbare negatieve gewasreacties geleid. Dit langzamere afkoelen kan in combinatie met het weer opstoken wellicht nog verder uitgebuit worden waardoor er nog een verdere besparing bereikt kan worden. Het is gebleken dat het elektriciteitsgebruik zoals verwacht toeneemt maar slechts in beperkte mate, mede door het bewust gebruik van de regeling: bij geopende ramen geen minimumbuis of een minimum ventilatorstand.

In 2010 heeft de herfstteelt de hogedraadteelt komkommer een vergelijkbare productie gegeven dan op enkele praktijkbedrijven met hogedraad komkommers. Wel trad tegen het einde van de teelt wegval van planten door Botrytis op, mede veroorzaakt door het geteelde gevoelige ras.

In het onderzoek met tomaat van 2010-2011 was de productie in de Venlow energy kas  $5 \text{ kg}$  hoger ( $67 \text{ kg}/\text{m}^2$ ) dan in een referentiekas. De teelt is goed verlopen, met alleen wat Botrytis op de stam tegen het einde van de teelt. De oorzaak was dat stengels op de grond lagen en er niet met de buisrailverwarming maar met de groeibuis werd gestookt, die ver van de stengels verwijderd (ca.  $1.5 \text{ m}$  hoger dan de stengels) lag.

In de tomatenproef van 2011-2012 met eveneens Komeett kwam de eindproductie uit op  $72 \text{ kg}/\text{m}^2$ . Dit was  $9 \text{ kg}/\text{m}^2$  hoger dan een vergelijkbare teelt met hetzelfde ras op een andere locatie. De teelt verliep erg goed met te verwaarlozen bladrandjes en Botrytis in het gewas.

Ten aanzien van gewasproductie kan dus geconcludeerd worden dat het gebruik van een isolerend kasdek geen negatieve gevolgen voor de productie hoeft te hebben.





## 7 Literatuur

Poot, E.H.; Kempkes, F.L.K.; Gelder, A. de; Janse, J.; Raaphorst, M.G.M. (2010).

Nieuw kasdek voor Het Nieuwe Telen. Bleiswijk : Wageningen UR Glastuinbouw, (Rapporten GTB 1050) p. 86.

Stanghellini, C., Jianfeng, D., Kempkes, F.L.K., 2011.

Effect of near-infrared-radiation reflective screen materials on ventilation requirement, crop transpiration and water use efficiency of a greenhouse rose crop. Biosystems Engineering 110 (2011)3. - ISSN 1537-5110 - p. 261 - 271.

Dueck, T., Janse, J., Kempkes, F., Li, T., Elings, A. en Hemming, S., 2012.

Diffuus licht bij tomaat. Rapport GTB-1158.

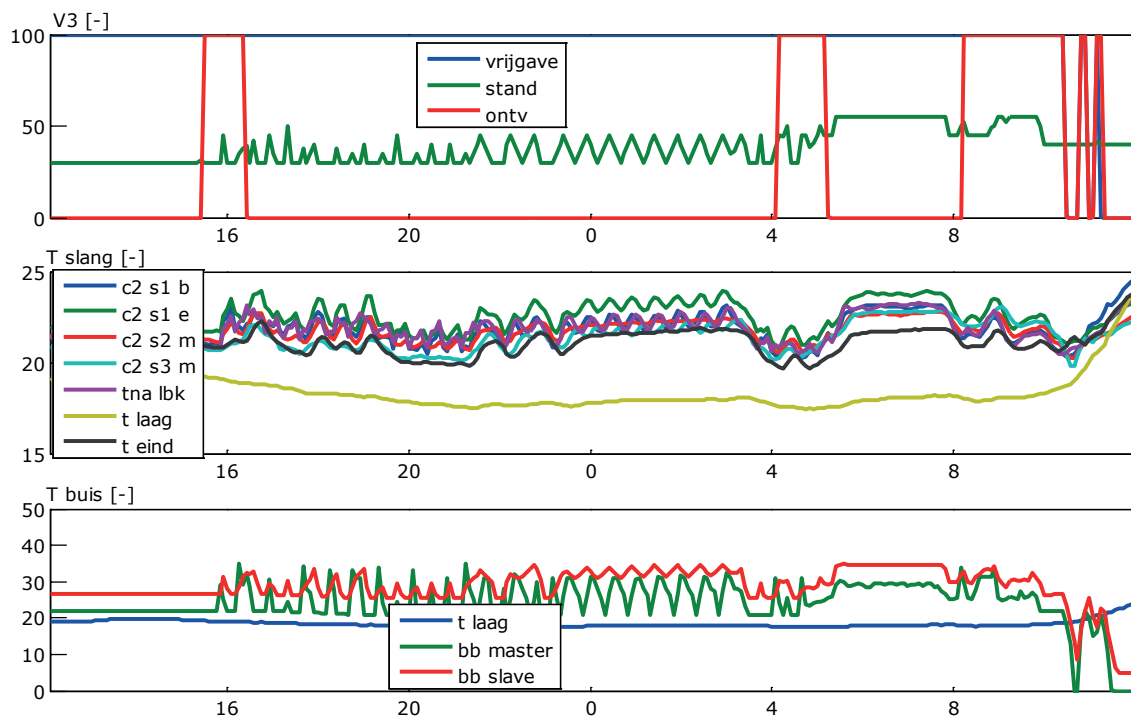
Rapport uitkomsten sessie greenhouse case, Daan Vos. TU-Delft, 2012.

Creative facilitation, "greenhouse case" how to remove unwanted snow mass on rooftops of greenhouses? Paul Schouten. TU-Delft, 2012.

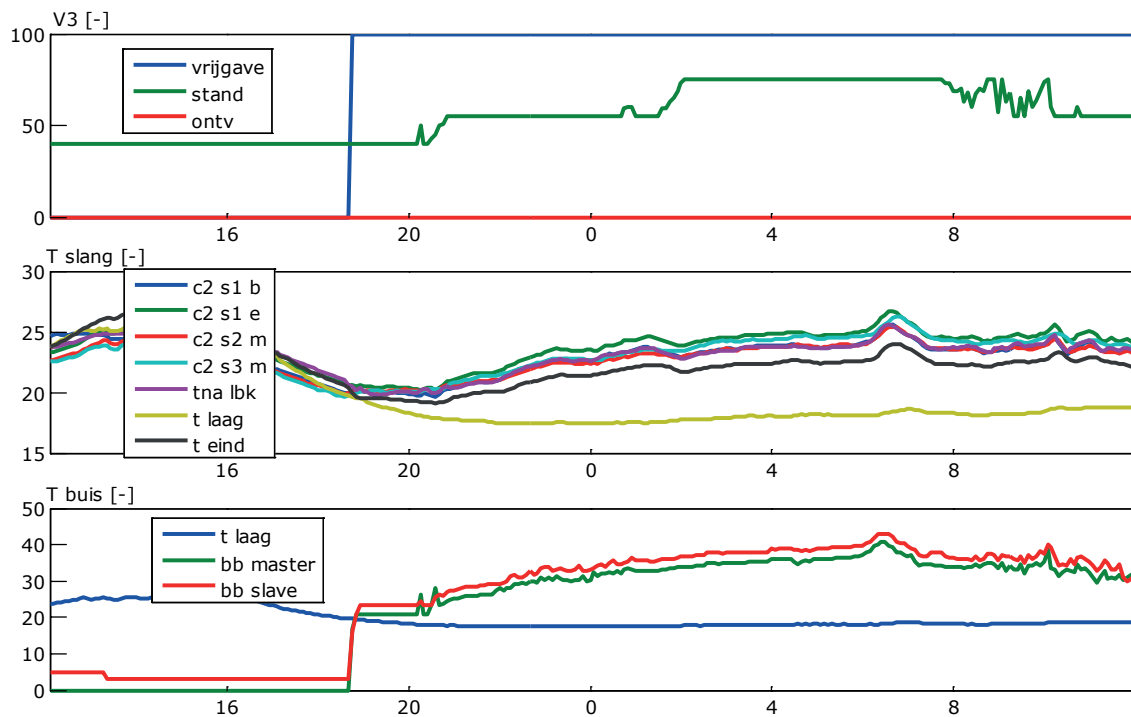


## Bijlage I    Temperatuurverloop in de slang

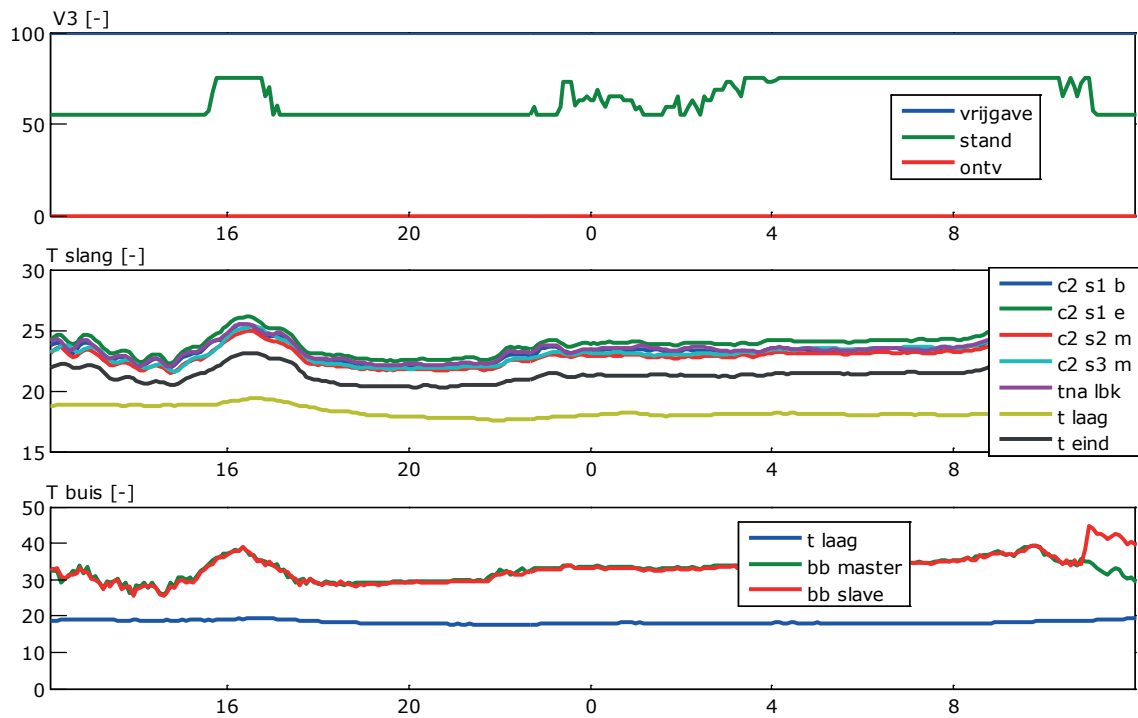
Resultaten temperatuurverschillen slang t.g.v. master en slave temperatuur.



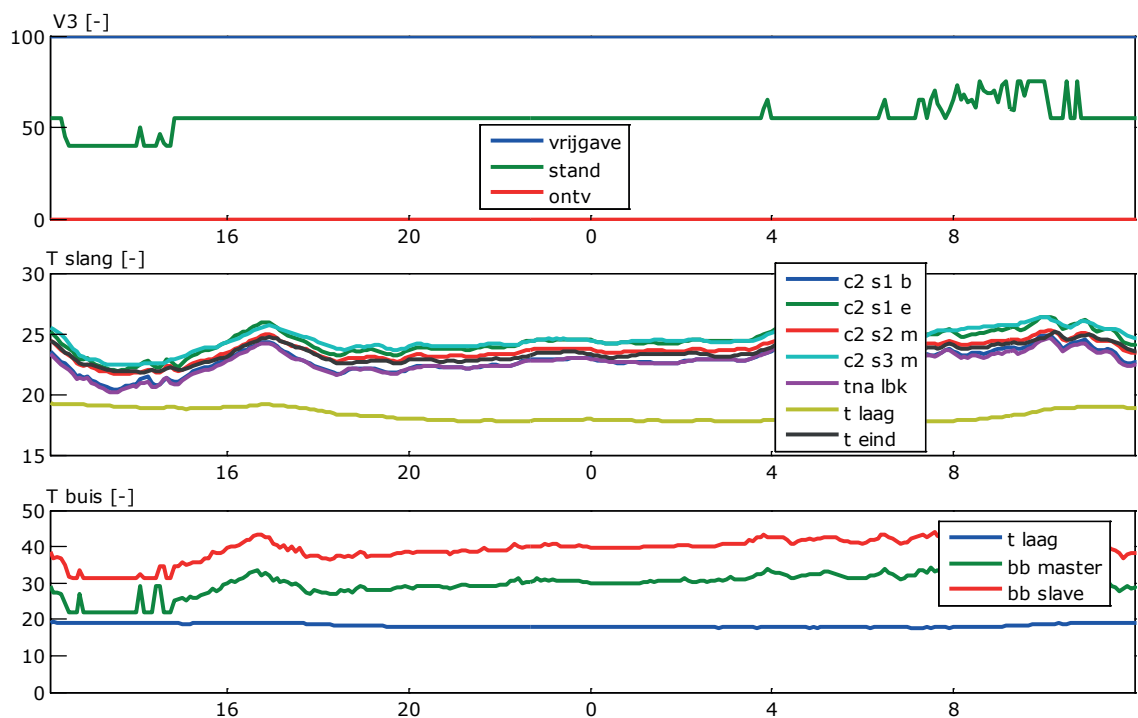
Figuur B1.1 Van 13 november 12:00 tot 14 november 12:00 temperatuur slave is master+5.



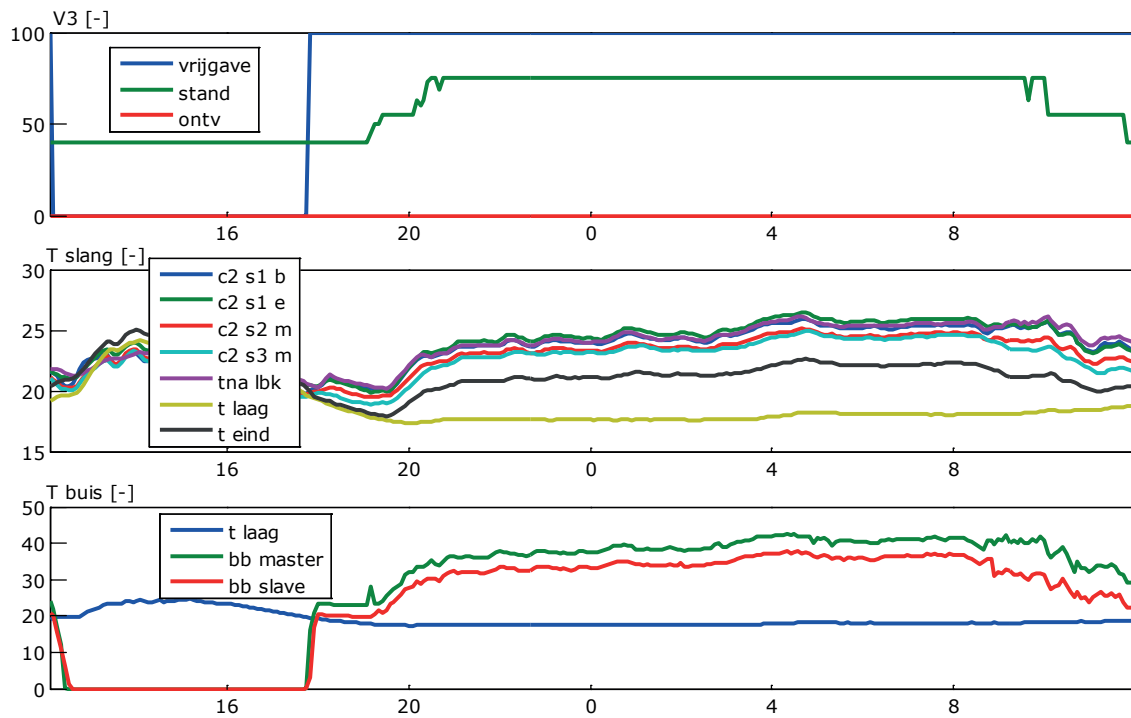
Figuur B1.2 Van 14 november 12:00 tot 15 november 12:00 temperatuur slave is master+2.5.  
Bij optoeren ventilator zie je meeste sensoren wat in temperatuur teruglopen. (pijl)



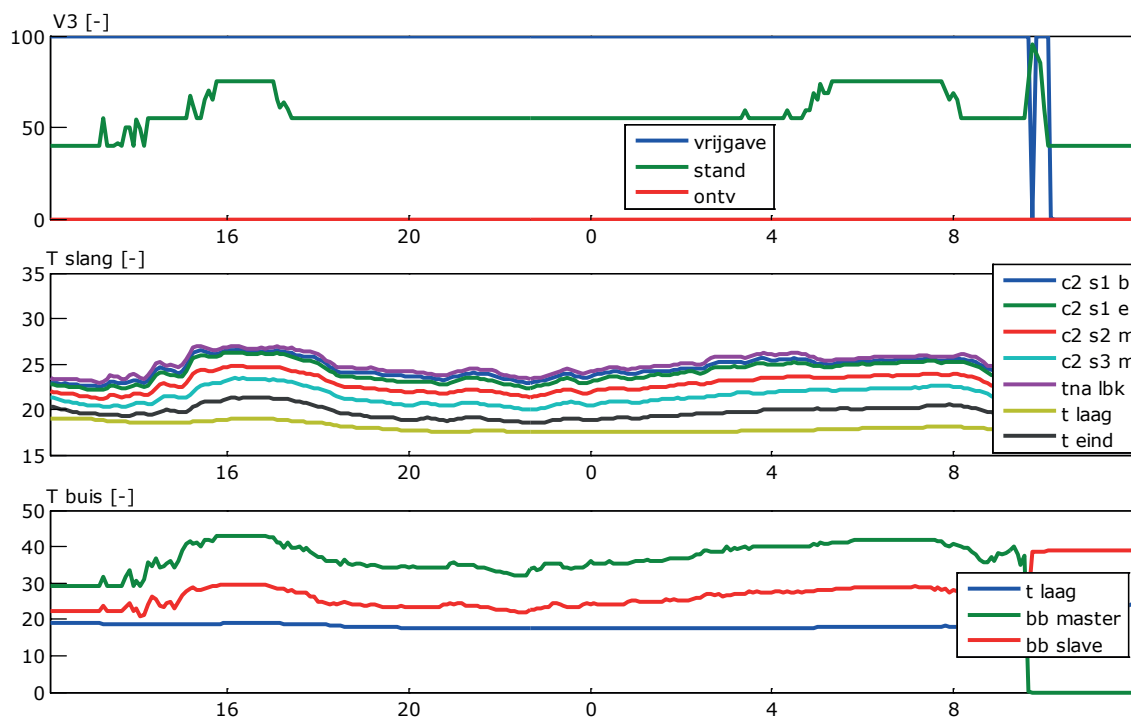
Figuur B1.3 Van 15 november 12:00 tot 16 november 12:00 temperatuur slave is master+0. Temperatuurverschillen in slang zijn erg klein.



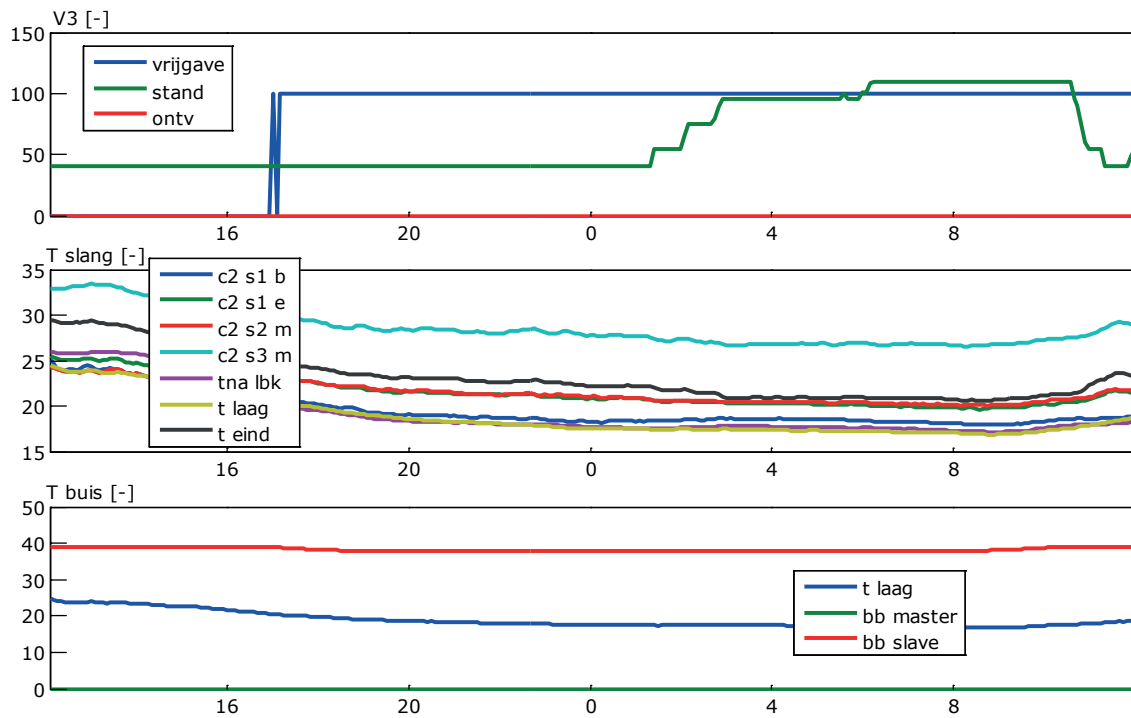
Figuur B1.4 Van 16 november 12:00 tot 17 november 12:00 temperatuur slave is master+10. Nu neemt temperatuur in de slang duidelijk toe. Aan het eind is de lucht in de slang 2 °C warmer dan aan het begin.



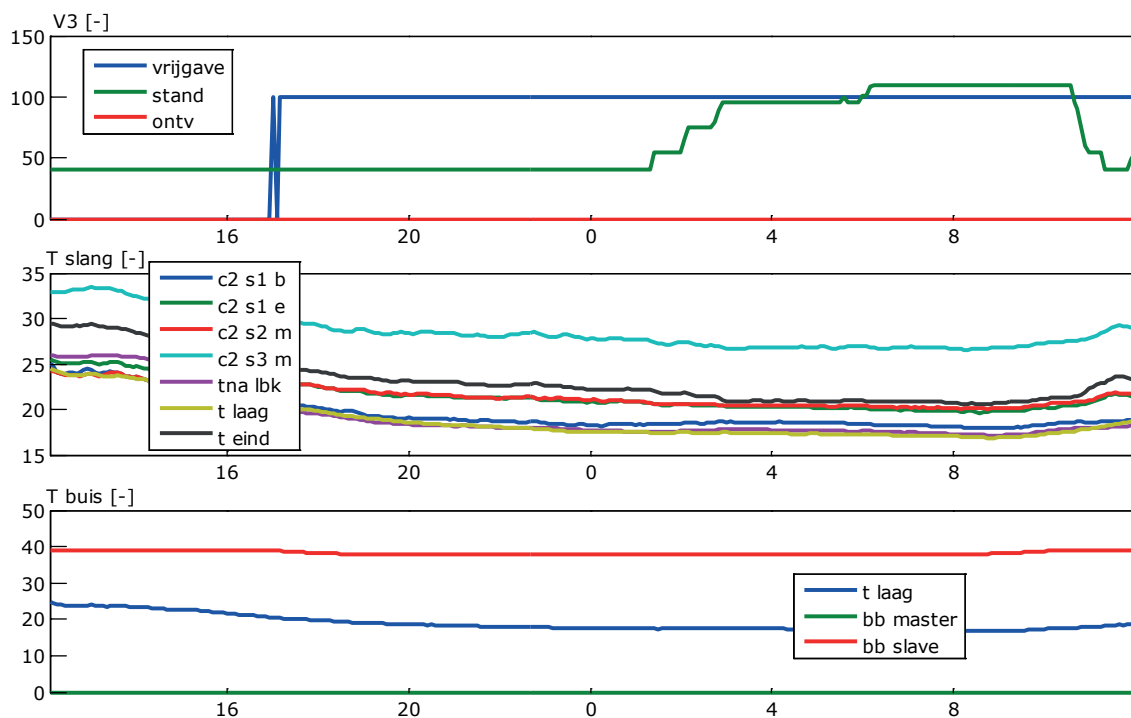
Figuur B1.5 Van 18 november 12:00 tot 19 november 12:00 temperatuur slave is master -5. Temperatuur in de slang neemt duidelijk af. Aan het eind is de slang meer dan 1 °C kouder dan aan het begin.



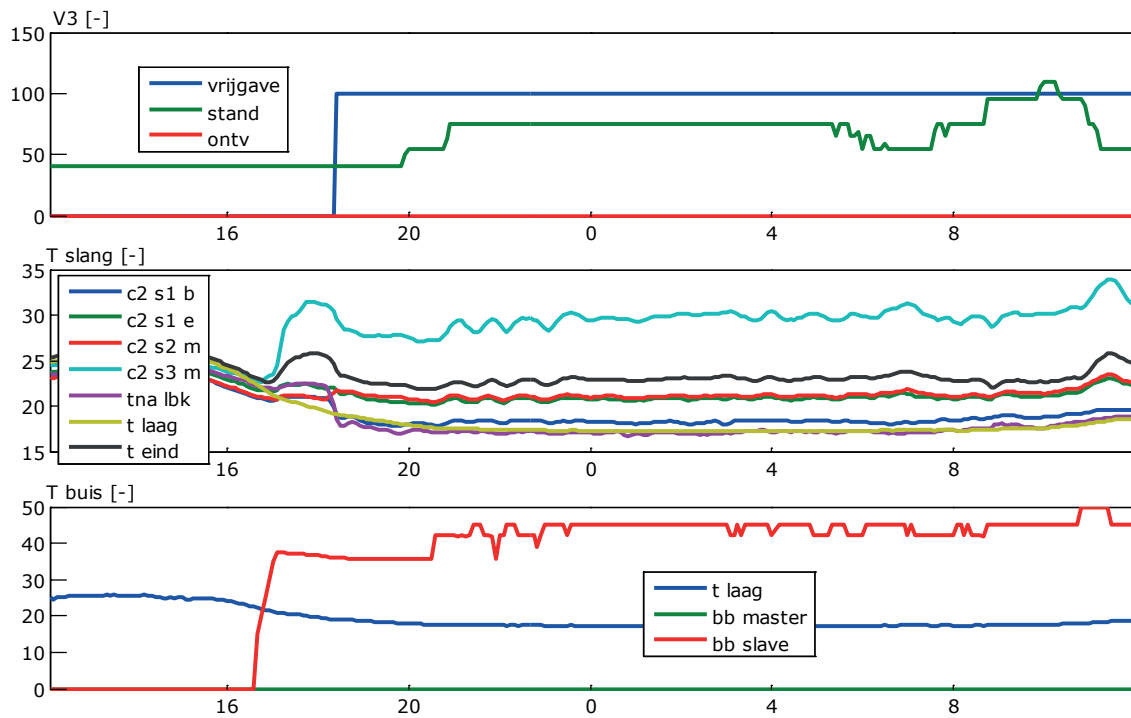
Figuur B1.6 Van 19 november 12:00 tot 20 november 12:00 temperatuur slave is master -10. Temperatuur in de slang neemt duidelijk af. Aan het eind is de lucht in de slang meer dan 3 °C kouder dan aan het begin.



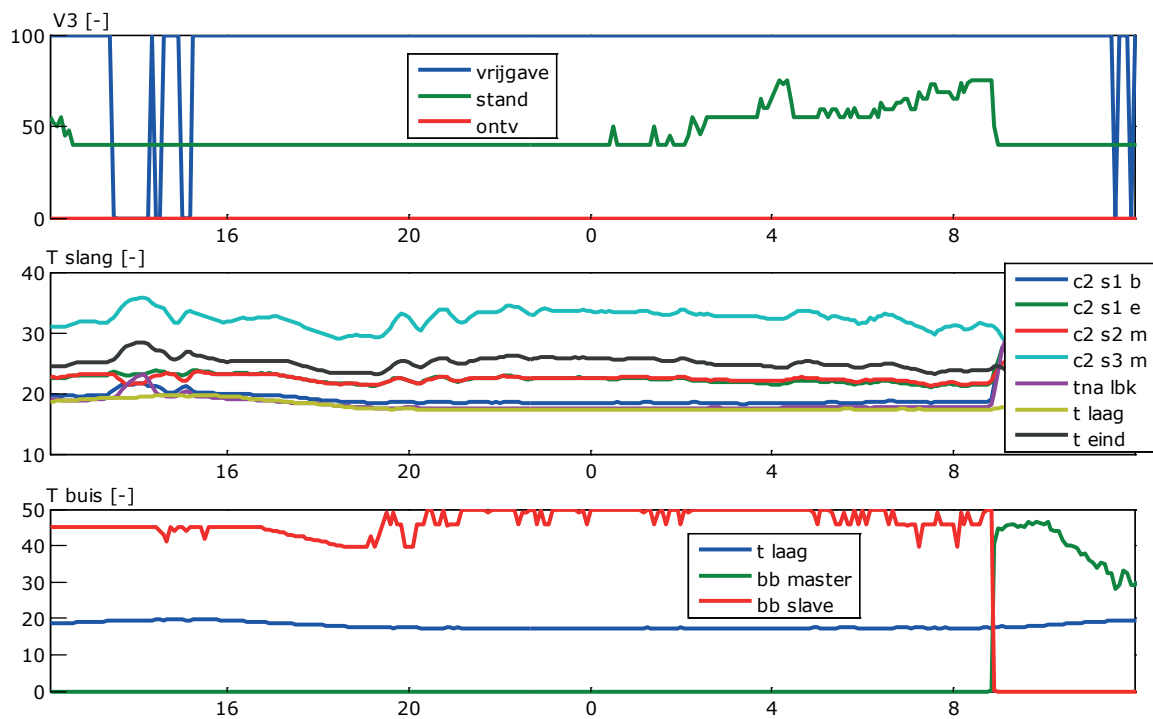
Figuur B1.7 Van 20 november 12:00 tot 21 november 12:00 slave is aan, master uit. Temperatuur van de lucht in de slang neemt duidelijk toe. Aan het eind is de slang meer dan 8 °C warmer dan begin.



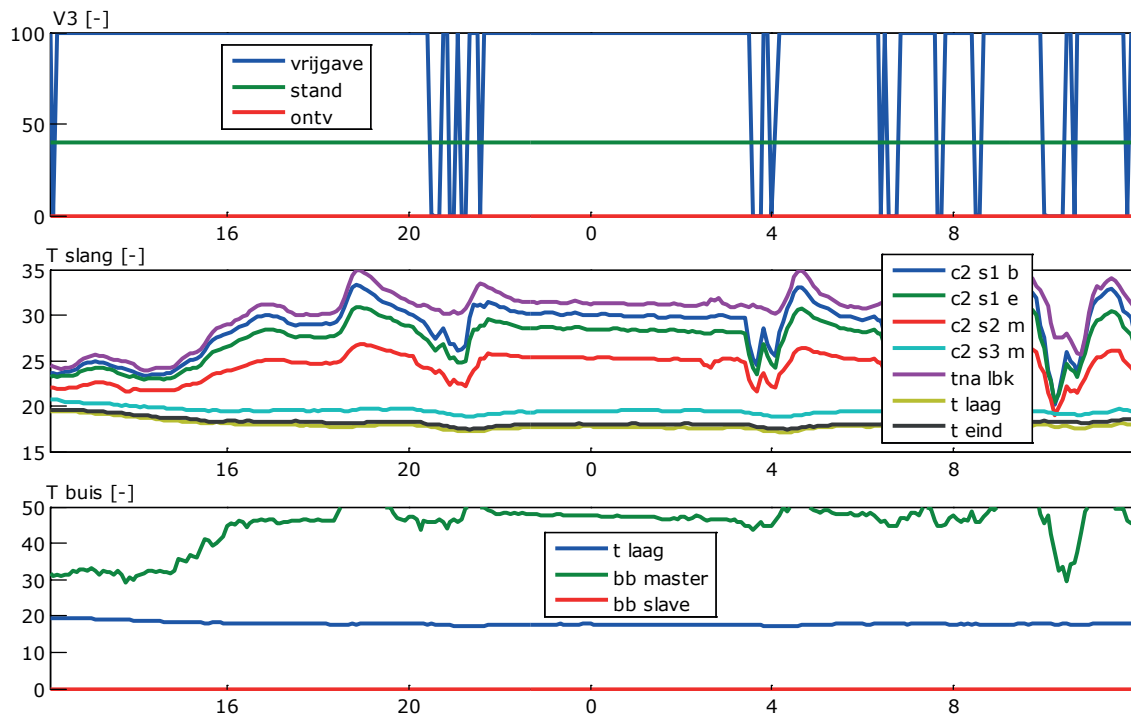
Figuur B1.8 Van 21 november 12:00 tot 22 november 12:00 slave is aan, master uit. Temperatuur van de lucht in de slang neemt duidelijk toe. Aan het eind is de slang meer dan 7 °C warmer dan begin. Omdat LBK aan begin van slang uit staat is tna lbk ongeveer gelijk aan de kasluchttemperatuur t laag.



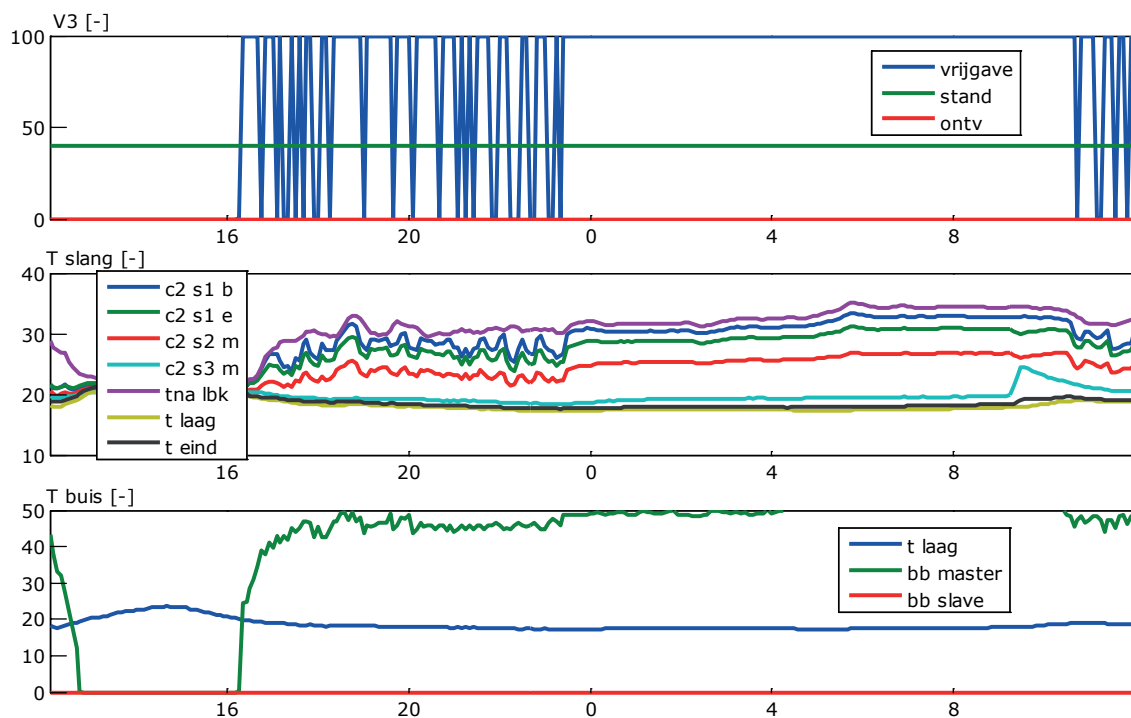
Figuur B1.9 Van 22 november 12:00 tot 23 november 12:00 slave is aan master uit. De  $C_2 S3 m$  temperatuur is verdacht omdat eindtemperatuur (zwarte lijn) zover achter blijft. Kans dat thermokoppel toevallig zo ongeveer op de verwarmingsbuis hangt



Figuur B1.10 Van 23 november 12:00 tot 24 november 12:00 slave is aan met max 50 °C temperatuur master uit.

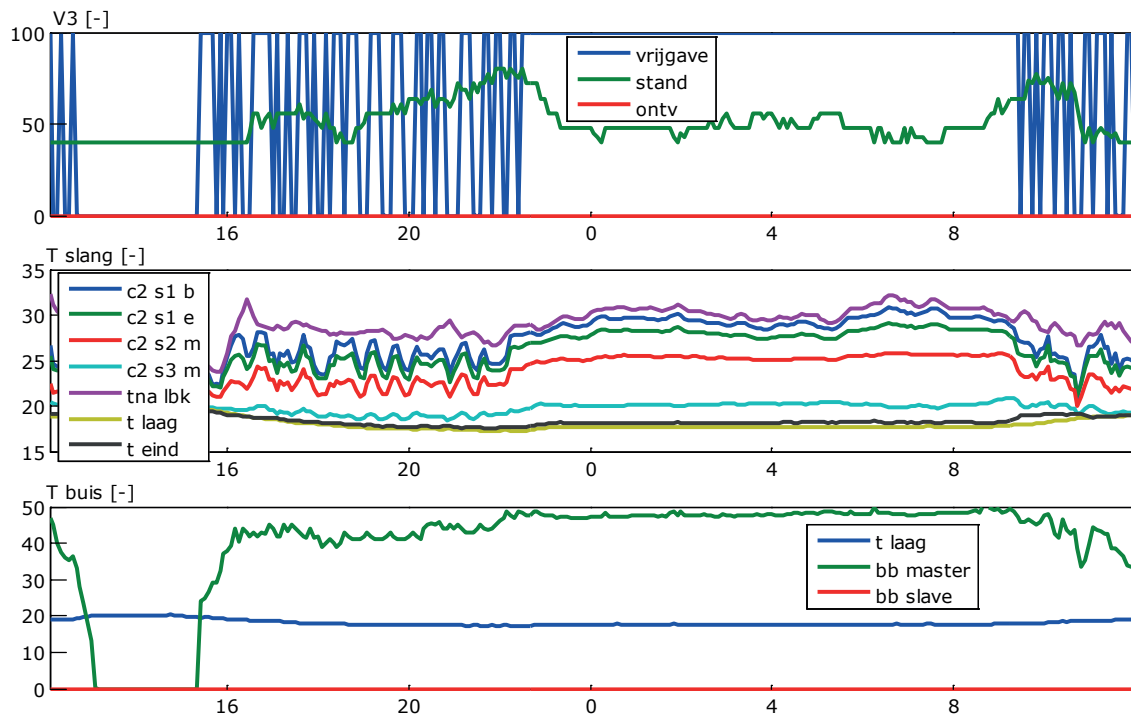


Figuur B1.11 Van 24 november 12:00 tot 25 november 12:00 master is aan max 55 graden slave is uit. Fan V3 heeft constant op 40% gestaan

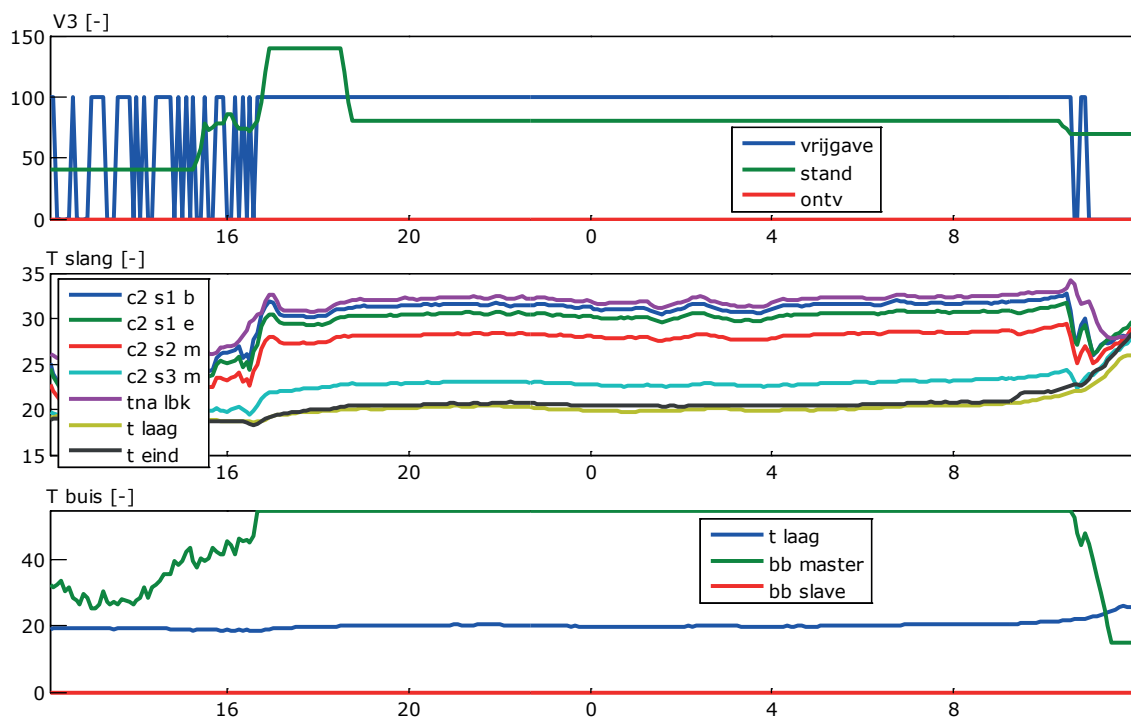


Figuur B1.12 Van 25 november 12:00 tot 26 november 12:00 master is aan max 55 graden slave is uit. Fan V3 heeft constant op 40% gestaan. Temperatuurverloop van de luchttemperatuur in de slang loopt op tot meer dan 10 °C.

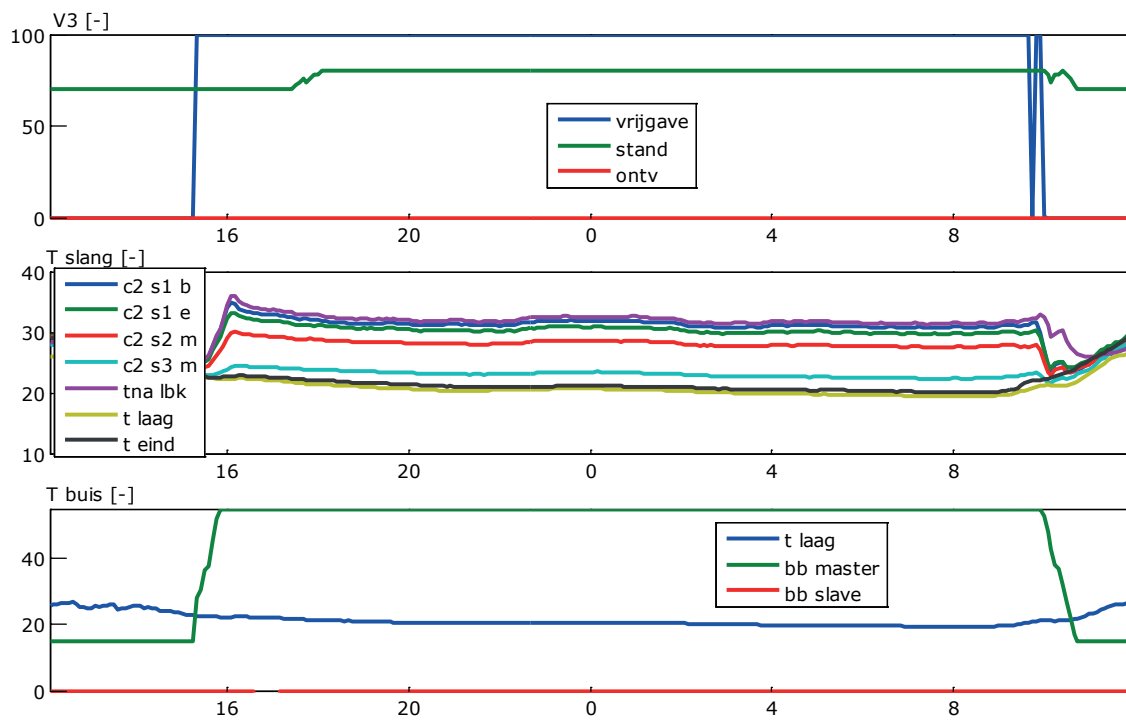




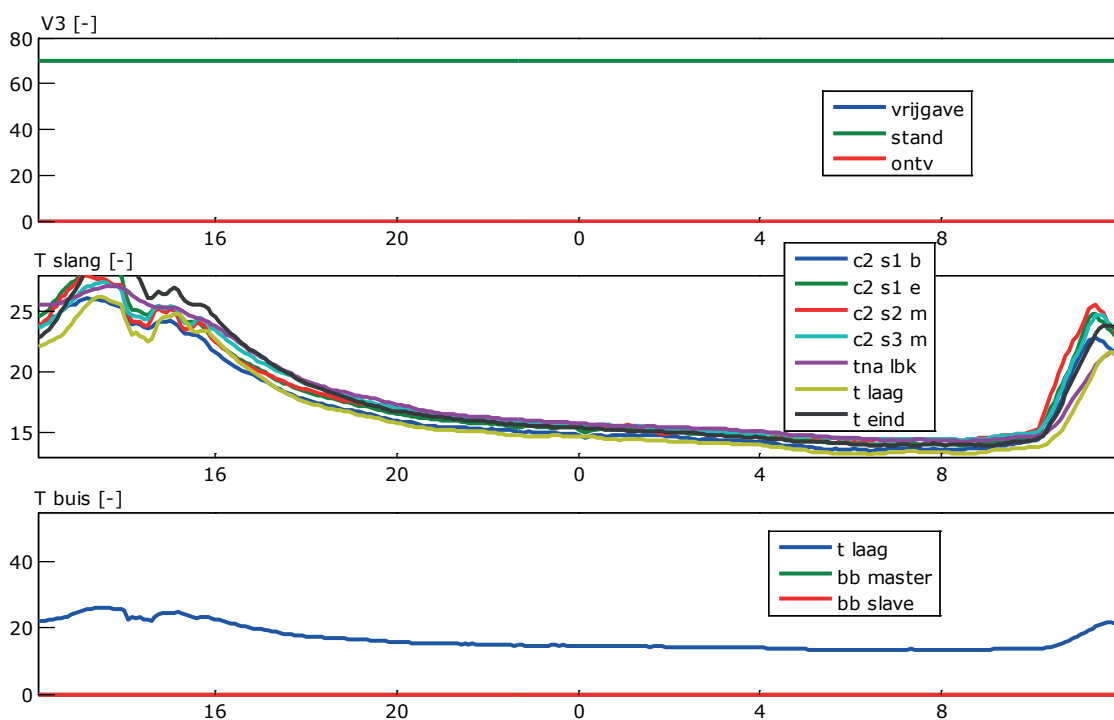
Figuur B1.13 Van 26 november 12:00 tot 27 november 12:00 master is aan max 55 graden slave is uit. Fan V3 is in toerental gevarieerd.



Figuur B1.14 Van 27 november 12:00 tot 28 november 12:00 master is aan, vast op 55 °C. Slave is uit. Fan V3 is vast op 80% gezet.



Figuur B1.15 Van 28 november 12:00 tot 29 november 12:00 master is aan, vast op 55 °C. Slave is uit. Fan V3 is vast op 80% gezet.



Figuur B1.16 Van 30 november 12:00 tot 1 december 12:00 alles is uit.

Foto's van de montage van de thermokoppels in de slang. De rode pijl geeft aan waar het thermokoppel zit.





## Bijlage II      Overzicht publicaties en presentaties

Arkesteijn, M.; Janse, J.; Kempkes, F.L.K. (2012).

'Met zo weinig energie zulke goede tomaten': Tomaten met 50% minder energie in Venlow Energy Kas (interview met Jan Janse en Frank Kempkes). Onder Glas 9 (3). - p. 32 - 33.

Hemming, S.; Kempkes, F.L.K.; Janse, J. (2012).

New greenhouse concept with high insulating double glass and new climate control strategies - Modelling and first results from a cucumber experiment. In: Proceedings of the International Symposium on Advanced Technologies and Management towards Sustainable Greenhouse Ecosystems Greensys2011. - Acta Horticulturae I. - p. 231 - 239. Leuven : ISHS, (952) - p. 231 - 239. Greensys2011, 2011-06-05/ 2010-06-10.

Kempkes, F.L.K.; Janse, J. (2012).

Venlow Energy greenhouse: High insulation & new growing strategies. Wageningen : Wageningen UR Glastuinbouw, Delegatie Noorse onderzoekers, 2012-06-13.

Kempkes, F.L.K.; Janse, J. (2012).

CO<sub>2</sub> en Venlow Energy Kas. Bleiswijk : Wageningen UR Glastuinbouw, Bijeenkomst LTO Groeiservice, 2012-07-02.

Kempkes, F.L.K. (2012).

Stille revolutie in de glastuinbouw (interview en rondleiding met Frank Kempkes). In: Eén Vandaag. - Avro, interview, 2012-07-10.

Kempkes, F.L.K. (2012).

Venlow Energy greenhouse : High insulation new growing strategies. Ludwigshafen : Wageningen UR Greenhouse Horticulture, Bijeenkomst COST Action BioGreenhouse, 2012-10-03.

Kempkes, F.L.K. (2012).

Venlow Energy greenhouse - High insulation. Castre (NB) : Wageningen UR Glastuinbouw, Brainstormsessie TUD / greenport campus sneeuwsmelten, 2012-10-19.

Kempkes, F.L.K. (2012).

Venlow Energy kas en CO<sub>2</sub> proef. Bleiswijk : Wageningen UR Glastuinbouw, Arenasessie, 2012-09-26.

Kempkes, F.L.K.; Dueck, T.A. (2012).

VenlowEnergyKas en gelimiteerd CO<sub>2</sub> leveren stof tot discussie. Wageningen UR Glastuinbouw, 2012-07-05.

Anonymous, Kempkes, F.L.K. (2011).

Goede start in Venlow Energy kas (interview met Frank Kempkes).

Boonekamp, G.; Kempkes, F.L.K.; Janse, J. (2011).

De VenLowEnergy-kas doet wat hij beloofde (interview met Frank Kempkes en Jan Janse. Groenten en Fruit Actueel 2011 (2). - p. 11.

Hemming, S.; Kempkes, F.L.K.; Janse, J. (2011).

New greenhouse concept with high insulating double glass with modern coatings and new climate control strategies - modelling and first results from a cucumber experiment. Haldikiki, Greece : Wageningen UR Greenhouse Horticulture, Abstract and Presentation ISHS Greensys2011, 2011-06-06.

Kempkes, F.L.K. (2011).

VenlowEnergyKas, een ultra energiezuinige kas. Wageningen : Wageningen UR Glastuinbouw, NVTL Studiedag Schoon en Zuinig, 2011-03-01.

Kempkes, F.L.K. (2011).

Hoge verwachting tomaat VelowEnergyKas. Energie2020, 2011-01-19.

Kempkes, F.L.K. (2011).

Minder energie met Venlow Energy Kas (interview met Frank Kempkes). Glastuinbouwtechniek Magazine 6 (4). - p. 32 - 33.

Presentatie Venlow Energy kas. Bleiswijk : Bijeenkomst OVTO, 2011-04-20. Kempkes, F.L.K. (2011).

Presentatie Venlow Energy kas. Bleiswijk : Bijeenkomst landelijke commissie tomaat, 2011-06-14.

Presentatie Venlow Energy kas. Bleiswijk : Bijeenkomst tomatentelers, 2011-06-23. Kempkes, F.L.K. (2011).

Kempkes, F.L.K. (2011).

Succesvolle tomatenteelt in VenlowEnergyKas. Wageningen UR Glastuinbouw, 2011-12-06.

Staalduinen, J. van; Kempkes, F.L.K. (2011).

Diffuus dubbel glas biedt voordelen ten opzichte van kunststof kanaalplaten: Dubbel glas doet zijn intrede in de phalaenopsisteelt (interview met o.a. Frank Kempkes). Onder Glas 8 (6/7). - p. 14 - 15.

Wageningen UR Glastuinbouw, ; Kempkes, F.L.K. (2011).

VenlowEnergyKas: Hoch-isoliertes Gewächshaus soll Energieverbrauch mehr als 60% senken ohne Produktionsverluste. Essen, Duitsland. : Wageningen UR Glastuinbouw, internationale vakbeurs IPM, 2011-01-25/ 2011-01-28.

Anonymous, ; Kempkes, F.L.K. (2010).

Komkommers gedijen goed onder gecoat dubbel glas (interview met Frank Kempkes). Nieuwe Oogst : ledenblad LTO Noord. LTO Noord, ed. Oost/West 6 (33). - p. 1.

Boonekamp, G.; Kempkes, F.L.K. (2010).

Gecoat isolatieglas geeft nieuwe telen vleugels (interview met o.a. Frank Kempkes). Groenten en Fruit Magazine 2010 (7/8). - p. 26 - 28.

Kempkes, F.L.K. (2010).

Energie innovatief kasdek materiaal. Bommel : Wageningen UR Glastuinbouw, Workshop provincie Gelderland, 2010-02-23.

Kempkes, F.L.K. (2010).

Voor elk seizoen een ander kasdek? Energie innovatieve kasdek materialen. Bleiswijk : Wageningen UR Glastuinbouw, Presentatie TuinbouwTechniekOndernemers (TTO) Bijeenkomst, 2010-05-12.

Kempkes, F.L.K.; Stanghellini, C.; Hemming, S. (2010).

Voor elk seizoen een ander kasdek? Energie innovatieve kasdek materialen. Honselersdijk : Wageningen UR Glastuinbouw, Presentatie TTO bijeenkomst tbv FormFlex Innovatiegroepen, 2010-11-03.

Kempkes, F.L.K. (2010).

Voor elk seizoen een ander kasdek? Energie innovatieve kasdekmaterialen d.m.v. coatings en oppervlaktebehandelingen. Wageningen UR Glastuinbouw, Presentatie t.b.v. werkgroep Lelietelers, 2010-06-15.

Kempkes, F.L.K. (2010).

Komkommer met 16 kuub aardgas (interview met Frank Kempkes) Groenten en Fruit Magazine 2010 (32). - p. 2.

Kempkes, F.L.K. (2010).

Cucumber cultivation with 70% less energy. Wageningen : Wageningen UR, 2010-12-07.

Kierkels, T.; Kempkes, F.L.K. (2010).

Met dubbel glas bij komkommer zeer laag gasverbruik mogelijk (interview met Frank Kempkes). Onder Glas 7 (6/7). - p. 43.

Sikkema, A.; Poot, E.H.; Kempkes, F.L.K. (2010).

PPO tests double glazing in greenhouse. Resource: nieuwssite voor studenten en medewerkers van Wageningen UR.











